

Rapport au Secrétaire général pour l'investissement

**Contre-expertise de l'évaluation socio-économique du projet
Haute Performance Paris Vintimille (HPMV)**

Alexandre Bréèrette

Jean-Paul Ourliac

Christian Sevestre

Avril 2022

Table des matières

1	CONTEXTE DU PROJET	7
1.1	L'OBJET DU PROJET HPMV	7
1.2	LE CADRE GENERAL DE DEPLOIEMENT DE L'ERTMS AU NIVEAU EUROPEEN.....	7
1.3	LA STRATEGIE DE DEVELOPPEMENT DE L'ERTMS EN FRANCE.....	8
1.4	LE CHOIX DE LA LIGNE MARSEILLE-VINTIMILLE COMME TERRAIN D'EXPERIMENTATION.....	10
2	DESCRIPTION DU PROJET	13
2.1	LES AMBITIONS FIXEES AU PROJET.....	13
2.2	LE SYSTEME ERTMS	14
2.3	LE PERIMETRE DE L'OPERATION	20
2.4	COUT DU PROJET : UNE EVALUATION DIFFICILE A ANALYSER.....	21
3	LE CADRE DE L'ANALYSE ECONOMIQUE : SITUATION DE REFERENCE ET SITUATION DE PROJET	25
3.1	CADRAGE SOCIOECONOMIQUE : LE SCENARIO DE REFERENCE.....	25
3.2	L'OPTION DE REFERENCE	26
3.3	LES OPTIONS DE PROJET (1 ET 2).....	29
4	L'EVALUATION SOCIOECONOMIQUE	31
4.1	PRESENTATION DE LA DEMARCHE	31
4.2	LES MODELES DE TRAFIC	32
4.3	ÉTUDE DE ROBUSTESSE.....	37
4.4	LES RESULTATS DE L'EVALUATION SOCIOECONOMIQUE	41
4.5	LES FACTEURS MOBILISES	45
4.6	LE SCENARIO COMPLEMENTAIRE SOUHAITE PAR LES CONTRE-EXPERTS.....	48
5	LES RISQUES	53
5.1	LA CARTOGRAPHIE DES RISQUES	53
5.2	LES RISQUES TECHNIQUES	53
5.3	RISQUES LIES AU PROCESSUS DE MIGRATION	58
5.4	RISQUES AU NIVEAU DES RESSOURCES NECESSAIRES (INTERNES ET EXTERNES).....	58
5.5	RISQUES AU NIVEAU DU PROCESSUS DE VALIDATION/HOMOLOGATION/CERTIFICATION DU SYSTEME	58
5.6	RISQUE EVENTUEL POUR LE PROJET LN PCA.....	60
5.7	COUT DU PROJET	60
6	ÉLÉMENTS DE CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	61
7	ANNEXES	65
7.1	ANNEXE 1 : LISTE DES AUDITIONS REALISEES DANS LE CADRE DE LA CONTRE-EXPERTISE	65
7.2	ANNEXE 2 : LISTE DES DOCUMENTS MIS A DISPOSITION DES CONTRE-EXPERTS.....	66
7.3	ANNEXE 3 : CARTES HPMV ET LNPCA	67
7.4	ANNEXE 4 : DESCRIPTION TECHNIQUE D'ERTMS.....	69
7.5	ANNEXE 5 : LES SPECIFICATIONS ERTMS	73
7.6	ANNEXE 6 : OUTILS UTILISES PAR LA SNCF POUR FAIRE L'ETUDE DE ROBUSTESSE.....	76
7.7	ANNEXE 7 : HYPOTHESES ET FACTEURS PRIS EN COMPTE POUR LA MODELISATION	77
7.8	ANNEXE 8 : ROLES DE L'EPSF ET DE L'ERA POUR TOUT PROJET DE SIGNALISATION IMPORTANT REALISE SUR LE RTE-T	81
7.9	ANNEXE 9 : EXTRAIT DU « GUIDE D'APPLICATION POUR L'APPROBATION DU SOUS-SYSTEME SOL PAR EUAR (L'AGENCE) »	84
7.10	ANNEXE 10 : DETAIL DES INTERVENTIONS DE L'EPSF ET DE L'ERA DANS LE CADRE DU PROJET HP MV.....	87
7.11	ANNEXE 11 – AVANCEMENT DU DEPLOIEMENT DE L'ERTMS	89

Préambule

La présente contre-expertise porte sur l'évaluation économique et sociale (ESE) du projet de modernisation de la signalisation sur la ligne Marseille Vintimille (HPMV).

La contre-expertise est menée conformément aux dispositions de la loi du 31 décembre 2012 de programmation des finances publiques pour les années 2012 à 2017, et au décret 2013-1211 du 23 décembre 2013 relatif à la procédure d'évaluation des investissements publics, qui précise (article 3-III) qu'elle "valide et, le cas échéant, actualise les hypothèses du dossier d'évaluation socio-économique, s'assure de la pertinence des méthodes utilisées et évalue les résultats qui en découlent."

Elle est basée sur le dossier remis au SGPI le 7 janvier 2022, et particulièrement le Dossier d'évaluation socio-économique (DESE), ainsi que sur les compléments et clarifications apportés par la maîtrise d'ouvrage à la demande de la contre-expertise et les auditions réalisées par les contre-experts dont la liste figure en annexe. Le rapport suit le plan de l'évaluation socio-économique décrit par le décret de 2013 en faisant référence au besoin aux autres pièces communiquées aux contre-experts, puis conclut sur une synthèse, formulant l'avis général des contre-experts sur la consistance du dossier, la solidité de l'argumentaire, l'intérêt socio-économique démontré et la prise en compte des risques.

Le rapport de contre-expertise formule plusieurs suggestions visant à conforter l'évaluation socioéconomique du programme de modernisation de la signalisation et de déploiement de l'ERTMS sur le réseau national.

Ces suggestions, ainsi que diverses recommandations au porteur de projet, viennent compléter le rapport.

1 Contexte du projet

1.1 L'objet du projet HPMV

Le projet HPMV vise à moderniser la signalisation sur la ligne ferroviaire entre Marseille Blancarde et Vintimille, en la portant au standard européen ERTMS, préalablement à la réalisation de la Ligne nouvelle Provence Côte d'Azur dont il constitue un « prérequis ».

1.2 Le cadre général de déploiement de l'ERTMS au niveau européen.

La signalisation est un élément essentiel du fonctionnement et de la sécurité de l'exploitation ferroviaire.

Or la diversité des systèmes nationaux de signalisation ferroviaire existant en Europe constitue un frein aux interconnexions et échanges, et limite l'ouverture à la concurrence qui constitue une base de la doctrine européenne en matière de transports ferroviaires. L'idée de développer un système de signalisation unifié a émergé à partir des années 1990 et a été confirmée par l'ouverture du tunnel sous la Manche et la mise en service des trains internationaux Thalys.

La Commission européenne s'est saisie du sujet dès 1996. Une première directive¹ a posé les principes de l'interopérabilité ferroviaire sur les lignes à grande vitesse. Cette interopérabilité est basée sur l'harmonisation des systèmes de signalisation et de sécurité à travers une nouvelle génération de signalisation ferroviaire européenne, l'European Rail Traffic Management System (ERTMS) et un système de contrôle composé d'un Control Command System (CCS) et d'équipements embarqués à bord des trains. Une directive de 2001 étend ensuite les principes de l'interopérabilité aux lignes conventionnelles².

Le plan européen de déploiement arrêté en 2017³ impose aux États l'obligation d'installer l'ERTMS sur la partie centrale des neuf corridors transeuropéens (TEN-T)⁴ à des dates dépendant des tronçons, et au plus tard d'ici 2030. L'ensemble du réseau transeuropéen doit quant à lui être équipé pour 2050.

Plusieurs versions de l'ERTMS (niveau 1, 2 ou 3) ont été développées ou sont en développement, ce point est détaillé en annexe 4.

¹ Directive 96/48/CE du Conseil du 23 juillet 1996 relative à l'interopérabilité du système ferroviaire transeuropéen à grande vitesse. Le texte en vigueur est à ce jour la Directive (UE) 2016/797 du Parlement européen et du Conseil du 11 mai 2016 relative à l'interopérabilité du système ferroviaire au sein de l'Union.

² Directive Européenne n°2001-16 du 19 mars 2001 2001/16/CE du Parlement européen et du Conseil du 19 mars 2001 relative à l'interopérabilité du système ferroviaire transeuropéen conventionnel.

³ Règlement d'exécution (UE) 2017/6 de la Commission du 5 janvier 2017 relatif au plan européen de déploiement du système européen de gestion du trafic ferroviaire

⁴ Baltique-Adriatique, mer du Nord-Baltique, Méditerranée, Orient-Méditerranée, Scandinavie-Méditerranée, Rhin-Alpes, Atlantique, mer du Nord-Méditerranée et Rhin-Danube.

Figure 1 : les 9 corridors européens TEN-T (source : l'Antenne)



1.3 La stratégie de développement de l'ERTMS en France

La carte de l'Europe montre un niveau d'équipement en ERTMS très inégal selon les pays. Il est important sur certains réseaux classiques de taille relativement petite (Luxembourg, Suisse...) et sur les réseaux à grande vitesse espagnol ou italien, dont le développement est récent⁵.

Les grands réseaux ferroviaires, en France et en Allemagne, sont déjà largement équipés de systèmes de signalisation nationaux performants. Ce sont pour la France les systèmes TVM (transmission voie-machine) déployés sur les LGV depuis 40 ans en deux versions (TVM 300 et 430) selon la vitesse maximale supportée, et KVB (contrôle de vitesse par balises). C'est sans doute la raison pour laquelle le déploiement de l'ERTMS ne semble pas avoir constitué en France une priorité d'investissement.

Seuls 1 000 kilomètres de lignes sont aujourd'hui équipés de la technologie de signalisation ERTMS⁶. L'ERTMS (niveau 1 ou 2) concerne principalement les lignes à grande vitesse (LGV) :

⁵ Voir en annexe 11 les sections équipées par pays (source : rapport ERA, 24/03/2022).

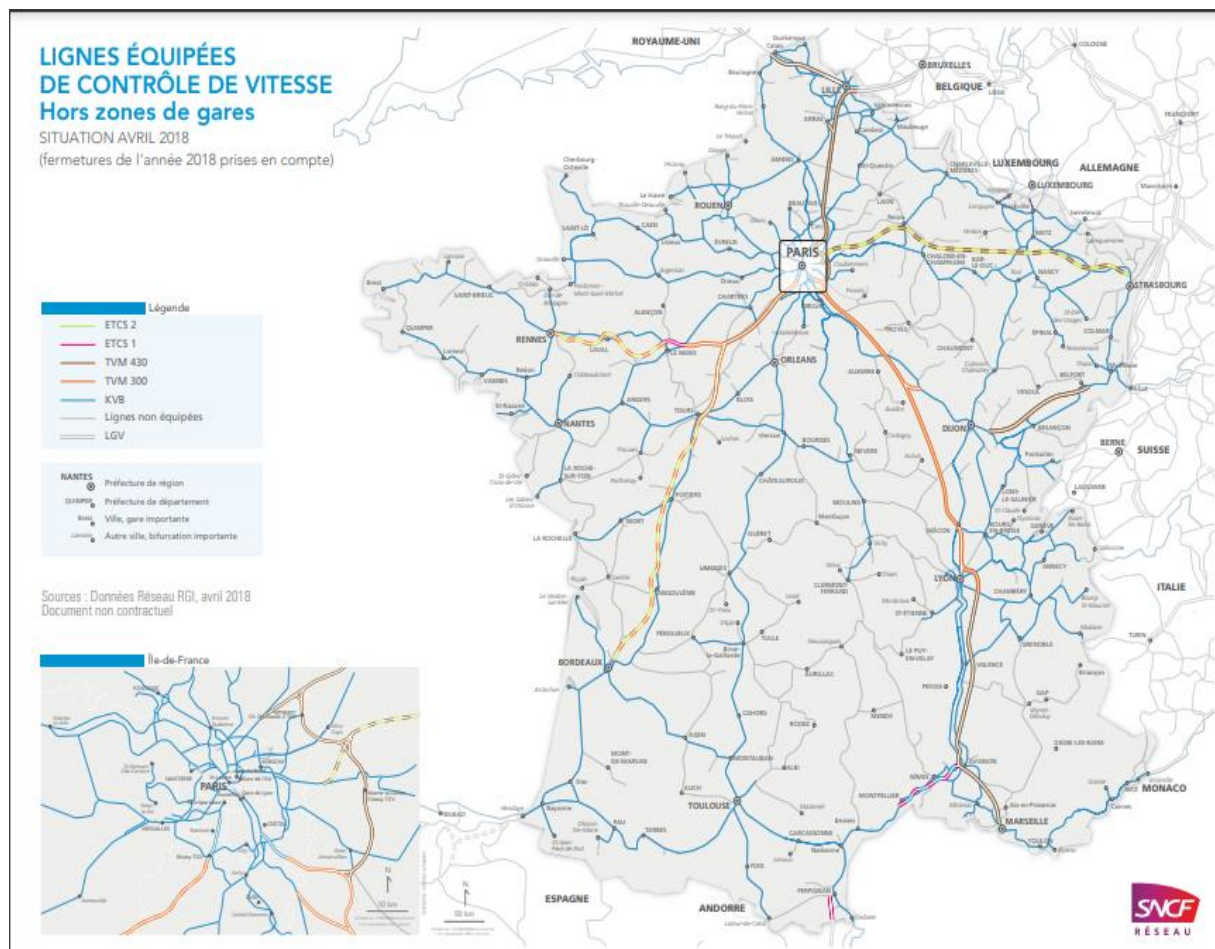
⁶ Rapport d'information de la commission des finances du Sénat, n°570, mars 2022.

Tours-Bordeaux, Est européenne, Perpignan-Figueras, Le Mans-Sablé, le contournement Nîmes-Montpellier. Deux sections classiques ont été équipées du niveau 1, en Lorraine dans le cadre du corridor européen Anvers – Bâle, entre Uckange et Zoufftgen ainsi qu’entre Longuyon et Mont Saint Martin, ainsi que la section française de Léman Express à l’arrivée à Annemasse.

Les projets portent à horizon 2030 sur :

- la LGV Paris-Lyon qui n’en est pas équipée, et où le déploiement de l’ERTMS pourrait permettre de faire circuler trois voire quatre trains supplémentaires par heure (Projet Haute Performance Grande Vitesse Sud Est -HPGVSE),
- la ligne nouvelle Provence Cote d’Azur (LNPCA) : c’est le projet Haute Performance Paris-Vintimille, objet du présent rapport,
- la LGV Paris-Nord,
- la ligne nouvelle Roissy-Picardie,
- ou encore la ligne classique Thionville-Metz-Sarrebourg-Mulhouse-Saint Louis⁷.

Figure 2 : Lignes équipées de contrôle de vitesse en France (source : SnCF Réseau)



⁷ Elle constitue la section française du corridor multimodal européen n°2. Ce dernier permet de relier les ports de Rotterdam et d’Anvers à Lyon et Bâle et de poursuivre ensuite depuis Bâle sur le corridor 1 vers la Suisse et l’Italie ou sur le corridor 6 depuis Lyon vers la péninsule ibérique.

L'objectif actuel du gestionnaire de réseau est d'équiper 2000 km de lignes à horizon 2030, sur un total de 28000 km de lignes exploitées⁸.

Le gestionnaire du réseau n'a pas publié de plan de déploiement, et c'est essentiellement à l'occasion du renouvellement de la signalisation qu'il est prévu d'installer l'ERTMS.

1.4 Le choix de la ligne Marseille-Vintimille comme terrain d'expérimentation.

1.4.1 L'axe littoral Provence Côte d'Azur, une forte urbanisation et un territoire au relief contraint.

La population de la Région Provence Alpes Côte d'Azur (PACA) dépasse 5 millions d'habitants, et cette population est majoritairement concentrée sur les 3 départements littoraux des Bouches-du-Rhône, du Var et des Alpes Maritimes qui en regroupent plus de 80%. Les trois aires urbaines d'Aix-Marseille, de Toulon et de Cannes-Nice concentrent la quasi-totalité de cette population sur une bande littorale de 50 km de largeur.

L'habitat et l'urbanisation sont donc fortement concentrés sur un territoire contraint par le relief. L'attrait touristique de ce territoire (qui accueille 37 millions de touristes chaque année pour une population de 5 millions d'habitants) contribue, de pair avec une forte activité économique, à la saturation des réseaux de transport.

De notoriété publique, le réseau routier est fortement saturé, particulièrement autour de la métropole marseillaise. Le réseau ferroviaire qui relie les trois métropoles d'Aix-Marseille, Toulon et Cannes-Nice est constitué d'une ligne unique, qui suit le littoral et dont le tracé réalisé à la fin du XIX^e siècle n'a pas évolué sensiblement depuis son ouverture.

L'amélioration des conditions de mobilité, et particulièrement des transports en commun, est une demande forte des populations concernées.

1.4.2 Un réseau vieillissant qui ne peut répondre à la demande

Dans le contexte actuel, le réseau ferroviaire n'est pas en situation de proposer ou d'apporter une réponse. Sa capacité est limitée et la régularité des trains connaît les taux les moins bons de l'hexagone⁹. Au-delà de Marseille en direction de Toulon, Cannes, Nice, et Vintimille, le tracé de la ligne historique et la vétusté de la signalisation ne permettent pas un relèvement de la vitesse.

C'est pourquoi dès 1989, à la suite de la mise en service du TGV Méditerranée, un projet de prolongation de la ligne à grande vitesse au-delà de Marseille en direction de Nice a été mis à l'étude et a donné lieu à de nombreux débats qu'il serait superflu de détailler ici.

La loi d'orientation des mobilités¹⁰ adoptée fin 2019 affiche la priorité de construire une programmation des infrastructures au service des transports du quotidien, ce qui a conduit à

⁸ dont 2700 km de lignes à grande vitesse et 10000 km à voie unique - Chiffres clés des transports – DATA LAB, 2021

⁹ La régularité à 5mn des TER en région PACA est en moyenne de 86% entre 2013 et février 2022 contre 91,5% à l'échelle nationale sur la même période.

Source : <https://ressources.data.sncf.com/explore/dataset/regularite-mensuelle-ter/>

¹⁰ Loi n°2019-1428 du 24 décembre 2019 dite loi LOM.

réviser les priorités fixées antérieurement au projet de LGV Provence Alpes Côte d'Azur. Ces priorités sont détaillées dans deux Décisions ministérielles (Transports) des 23 juin 2020 et 7 juin 2021, qui valident le programme des opérations constitutives des phases 1 et 2 de la ligne nouvelle Provence Côte d'Azur (LNPCA) de Marseille à Nice. La décision ministérielle (D.M.) du 7 juin 2021 fixe ainsi au projet l'ambition de désaturer les nœuds ferroviaires de Marseille, de Toulon et de la Côte d'Azur pour répondre aux besoins des transports du quotidien de ces aires métropolitaines, et d'améliorer les conditions d'exploitation et de robustesse du réseau existant. Il s'agit de « constituer un service ferroviaire performant dont la meilleure qualité de service rendra possible le développement d'une offre alternative au mode routier ».

1.4.3 L'interface entre HPMV et LNPCA.

Plusieurs enjeux du projet LNPCA - la robustesse des sillons, le relèvement des vitesses ou l'amélioration des cadencements de la circulation - ne pourront être atteints avec la signalisation actuelle. Sans entrer ici dans le détail, on retiendra que le renouvellement de la signalisation de cet axe est imposé par l'état général des installations qui ont été mises en place au cours de la période d'électrification de la ligne entre 1965 et 1969, et connaissent des taux de panne importants.

Une régénération complète de la signalisation est donc nécessaire préalablement à la mise en service de la LNPCA. Le gestionnaire de réseau a fait le choix de la présenter indépendamment. En conséquence, le dossier LNPCA, actuellement au stade de la déclaration d'utilité publique, ne prévoit pas d'intervention sur la signalisation.

C'est sur cette base que le ministre des Transports a retenu le déploiement de l'ERTMS sur l'ensemble de la ligne entre Marseille et la frontière italienne, à Vintimille et a retenu le niveau 3 hybride¹¹. Le projet HPMV intègre une reprise totale de la signalisation sur l'axe, le renouvellement de l'ensemble des postes d'aiguillage et la création d'un centre de commande unique.

1.4.4 Un terrain d'expérimentation

La D.M. du 28 juillet 2021 insiste sur la dimension innovante du projet HPMV qui servira de lieu d'expérimentation pour le développement et le test de briques technologiques fera rentrer le réseau ferroviaire dans l'ère digitale et constituera une vitrine de la transition numérique, ce qui le rend éligible à un financement du Programme des Investissements d'Avenir (PIA 4),

L'opération est en effet expérimentale à plusieurs titres :

- plusieurs LGV sont équipées en ERTMS niveau 1 ou 2, mais il s'agira du premier déploiement sur le réseau classique français de l'ERTMS niveau 3 hybride, qui constitue un saut technologique important avec l'introduction de cantons mobiles.
- Également il est prévu de déposer en même temps que l'ERTMS est mis en place la signalisation latérale, ce qui contraint l'ensemble des matériels circulant sur le parcours à être compatibles avec la nouvelle signalisation.

¹¹ Décision ministérielle (Transports) du 28 juillet 2021, adressée au PDG de la SNCF. Le financement prévu par la DM ne porte que sur la phase 1 du projet. Voir le détail du coût ci-dessous § 2.4

- La ligne Marseille-Vintimille n'est pas réservée aux rames à grande vitesse, elle est ouverte à un trafic mixte : trains à grande vitesse, trains régionaux, fret. La cohabitation de ces différents types de trafic pose des problèmes non encore totalement explorés (par exemple l'intégrité des convois).
- Contrairement à une LGV, Marseille-Vintimille comprend de nombreux points singuliers : gares, voies déviées, antennes, qui sont plus complexes à traiter qu'une liaison entre deux points.
- Au-delà de la modernisation de la signalisation, le projet introduit une commande centralisée qui regroupe les postes d'aiguillage.

2 Description du projet

2.1 Les ambitions fixées au projet

Les ambitions du projet HPMV sont les suivantes :

- 1) Démontrer la pertinence de la solution ERTMS Niveau 3 hybride sur la ligne Marseille Vintimille pour une extension éventuelle à l'ensemble du réseau conventionnel.

Le projet HPMV consiste à mettre en œuvre un démonstrateur national de signalisation numérique du réseau conventionnel associant l'ERTMS (European Rail Traffic Management System) dans sa version la plus performante actuellement accessible, dénommée Niveau 3 hybride (dont l'acronyme est N3H) et la Commande Centralisée du Réseau (CCR).

HPMV est ainsi le projet pilote pour la numérisation de la signalisation du réseau ferroviaire conventionnel. Il impose un équipement spécifique du matériel roulant de tous les opérateurs ferroviaires et du gestionnaire d'infrastructure.

HPMV doit permettre de valider les référentiels et les standards pour ERTMS N3H et de préparer les futures évolutions technologiques avec l'ensemble de la filière ferroviaire, permettant d'assurer la transition vers le niveau 3 intégral.

- 2) Améliorer la performance du service ferroviaire sur l'axe Marseille-Vintimille (robustesse des grilles, régularité et temps de parcours),

Sont concernées la ligne ferroviaire entre Marseille Blancarde et Vintimille, et également les deux lignes régionales à voie unique entre Cannes et Grasse d'une part, entre la Pauline et Hyères d'autre part, et le tronçon entre Nice Ville et Nice Saint Roch sur la ligne vers Breil.

Dans les réponses faites par l'équipe projet aux questions posées par les contre experts¹², il est indiqué en réponse à la question « quels sont les indicateurs qui permettront de dire que le projet a atteint son but et est un succès ? » que « le principal indicateur de succès en termes de performance d'exploitation du projet HPMV sera l'intervalle de temps minimum entre le passage de deux trains. Cette donnée est indépendante d'une grille horaire en particulier. »

Les experts ont toutefois relevé que seule l'amélioration de la régularité était prise en compte dans l'étude socio-économique.

Observation 1 : Le choix de ne prendre que l'amélioration de la régularité pour mesurer la pertinence économique du projet semble très réducteur.

- 3) Améliorer la productivité du gestionnaire d'infrastructure (Économies d'OPEX sur les coûts de maintenance et d'exploitation).

La suppression de la signalisation latérale, le remplacement des circuits de voie par des compteurs d'essieux numériques, le remplacement des câbles de cuivre par des fibres optiques et la prise en charge informatique par ERTMS des limitations temporaires de

¹² Note « Premières réponses DP HPMV aux questions SGPI », citée en annexe 2

vitesse (ce qui évite d'avoir à installer physiquement des panneaux physiques au bord de la voie) génèrent des économies importantes de maintenance et d'exploitation.

Par ailleurs, la commande centralisée des postes d'aiguillage permet de baisser significativement les coûts d'exploitation, tous les postes d'aiguillage étant commandés à distance et non plus localement.

- 4) Assurer l'interopérabilité à la frontière franco-italienne, ce qui répond à l'objectif fixé par l'Union européenne.
La mise en œuvre d'ERTMS sur la ligne Marseille Vintimille et sur son prolongement en Italie permettra aux trains équipés d'ERTMS de franchir la frontière sans avoir besoin de changer de système de signalisation.
- 5) Assurer les fonctions pré-requises pour le projet LNPCA, dans la mesure où la reprise de la signalisation n'est pas prévue dans ce dernier projet.
Le projet LNPCA porte essentiellement sur l'amélioration des plans de voie et des infrastructures hors signalisation. Le projet HPMV apportera au projet LNPCA un système d'exploitation performant (l'espacement des trains par ERTMS et une commande centralisée des circulations) qui permettra de renforcer la robustesse des sillons, de relever la vitesse sur certains tronçons et d'améliorer le cadencement des circulations.
- 6) Contribuer à la diminution de la production de gaz à effets de serre, en favorisant une augmentation du trafic ferroviaire et une réduction du trafic routier.

2.2 Le système ERTMS

2.2.1 Objectifs d'ERTMS

Comme vu au § 1.2, ERTMS vise à proposer un système harmonisé et unique à l'échelle européenne de contrôle-commande et de signalisation. Cette standardisation concerne notamment la transmission des informations entre l'infrastructure et le train.

Le système ERTMS doit s'interfacer avec le train (caractéristiques, interfaces bord, ...), avec le conducteur, et avec les systèmes externes de l'infrastructure (centre de contrôle, poste d'aiguillages, systèmes de détection des trains, ...).

Les informations devant être transmises par les composants du système ERTMS peuvent généralement être obtenues ou générées via les installations de sécurité d'enclenchement.

Un véhicule doté de l'intégralité des équipements des équipements gérant les fonctionnalités ERTMS doit pouvoir circuler sans restriction sur tous les parcours équipés ERTMS.

2.2.2 Description technique du système ERTMS

Le système ERTMS englobe trois sous-ensembles :

- L'**ETCS** (European Train Control System), qui comprend lui-même le sous-système ETCS SOL et le sous-système ETCS BORD.
Par abus de langage, le terme ERTMS est fréquemment utilisé en lieu et place d'ETCS.
- Le **GSM-R** (Global System Mobile for Railways) est le support des communications. Le GSM-R sera bientôt obsolète. Le FRMCS (Future Railway Mobile Communication System)

au standard 5G, est appelé à s'y substituer dans quelques années. Cette solution n'est pas encore opérationnelle.

- L'**ETML** (European Train Management Layer) est le module de gestion du trafic.

Les développements actuels de l'ERTMS ne concernent que les deux premiers sous-systèmes (ETCS et GSM-R). La conception de ce standard de système de sécurité est faite au niveau européen. Des spécifications (STI, FRS, SRS) sont écrites afin de définir ce système.

Le système ERTMS comporte trois niveaux de performance. Une description technique plus détaillée du système ERTMS est donnée à l'annexe 4.

2.2.3 Enseignements des déploiements de l'ERTMS 2 sur les lignes à grande vitesse en France

Le déploiement de l'ERTMS niveau 2 en France a commencé par la ligne à grande Vitesse Est Européenne en 2014¹³. Ce premier déploiement en ERTMS 2 s'est effectué en superposition de la Transmission Voie-Machine (TVM), système de signalisation embarquée spécifique au réseau français.

L'avantage de la superposition/juxtaposition des deux systèmes était de pouvoir basculer en cas de problèmes techniques sur l'autre système et donc de moins pénaliser l'exploitation en situation dégradée. Cela permettait aussi à l'ETCS de gagner en maturité technique sans risque pour l'exploitation, et aux différents acteurs de l'exploitation de mieux le maîtriser.

L'inconvénient a été que l'appropriation de ce nouveau système par les agents de conduite et agents circulation s'est effectuée moins vite. De plus, la superposition/juxtaposition de deux systèmes a induit des contraintes techniques qui ne vont pas dans le sens de la performance maximale en termes d'exploitation.

Ce retour d'expérience a favorisé l'émergence de deux projets pilotes de déploiement de l'ERTMS sans superposition à terme d'une signalisation nationale : le projet HPGV Sud-Est sur la ligne Paris-Lyon et le projet HPMV.

Le projet HPMV se distingue du projet HPGV SE sur les points suivants :

- La mise en exploitation de l'ERTMS s'accompagnera de la dépose de la signalisation latérale sans période transitoire de superposition, contrairement à ce qui est prévu pour HPGVSE,
- L'hétérogénéité des circulations et types de matériels roulants pose des contraintes supplémentaires qu'il n'y a pas sur les lignes à grande vitesse,
- L'exploitation dans les nœuds implique une plus grande densité de circulation à des points donnés,
- La mixité des missions (typologie d'arrêts sur un trajet) complexifie l'exploitation.

¹³ Un essai de déploiement de l'ERTMS au niveau 1 sur le réseau français a très vite conclu au manque d'intérêt de s'arrêter à ce stade.

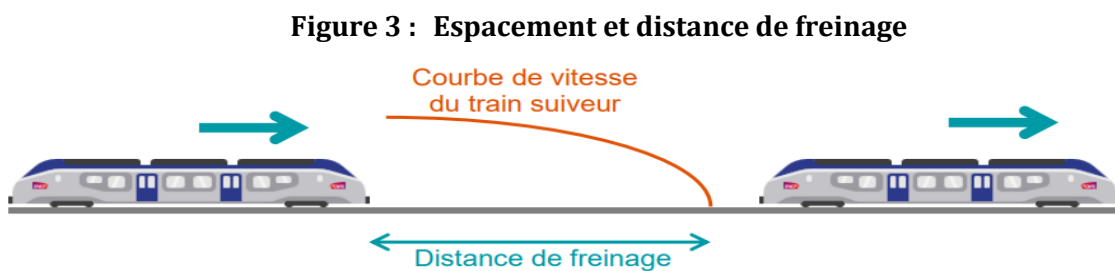
2.2.4 Ce qu'ERTMS apporte au réseau conventionnel

Indépendamment de la sécurité des circulations, la performance d'un système de signalisation sur une ligne ferroviaire s'articule autour de deux fonctions : l'espacement et l'enclenchement.

La compréhension de ce que peut apporter ERTMS sur une ligne classique nécessite de bien mesurer comment ERTMS impacte ces deux fonctions.

2.2.4.1 L'espacement

L'espacement consiste à garantir la distance de sécurité entre deux circulations de même sens : il s'agit d'assurer que le train suiveur est toujours en mesure de s'arrêter avant d'entrer en collision avec celui qui le précède.



Les lignes du réseau conventionnel sont équipées de signalisation latérale. L'espacement y est assuré en découpant la ligne en zones appelées « cantons », et en n'autorisant schématiquement l'entrée d'un train dans un canton qu'à la condition que celui-ci soit libre de toute occupation. Il s'agit du « block-system » avec des cantons fixes. Les informations que doit respecter le train s'appliquent à l'entrée de chaque canton.

Sur ligne classique équipée en signalisation latérale, la performance des trains de voyageurs ne bénéficie pas complètement des évolutions de la capacité d'accélération et de freinage des matériels roulants, les cantons étant définis par les performances des trains de fret.

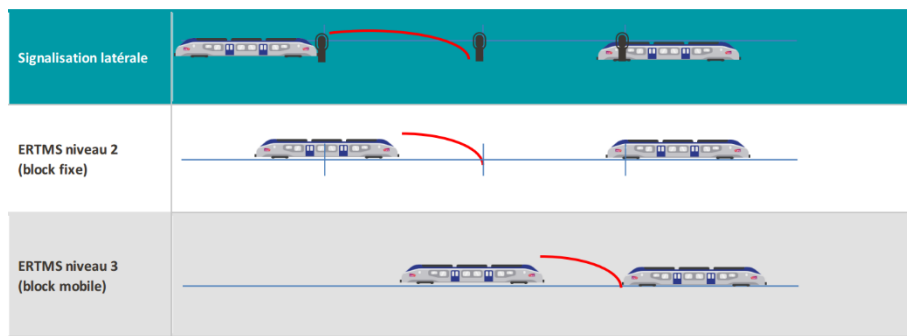
En ERTMS niveau 2, le système de cantons fixes reste utilisé, mais les informations de signalisation sont transmises aux trains de manière continue. Le train peut initier la phase de ralentissement préalable à l'arrêt au plus près du point réellement nécessaire, compte tenu de ses capacités de freinage, alors qu'avec une signalisation latérale ou en ERTMS N1, il l'initie au niveau du signal d'avertissement placé à un endroit fixe. ERTMS N2 permet ainsi une régulation fine de l'espacement des trains sur la ligne, ce qui accroît la capacité potentielle de la ligne, tout en autorisant une interopérabilité au niveau européen.

En ERTMS niveau 3 où le concept de canton fixe n'est plus utilisé, chaque train peut s'approcher de celui qui le précède à une distance correspondant à sa distance d'arrêt. Le niveau 3 est en ce sens le plus proche du besoin fonctionnel.

La solution ERTMS niveau 3 hybride est une optimisation de l'ERTMS niveau 2 pour les types de matériels roulants qui le permettent, en subdivisant les cantons fixes de manière virtuelle. De cette manière, il est possible de rapprocher encore les trains et d'accroître le débit.

Sur les lignes équipées ERTMS 3 hybride, tous les trains peuvent a minima circuler en ERTMS niveau 2. La position de deux trains se suivant sur une infrastructure peut être schématisée comme suit (en rouge la courbe de freinage) :

Figure 4 : Espacement ERTMS N2 et N3 (Source : §2 1 4 a Rapport ESE SNCF).



2.2.4.2 L'enclenchement

La fonction d'enclenchement a pour objectif d'assurer la sécurité des circulations dans les zones de postes d'aiguillage, principalement d'empêcher le nez à nez de deux trains circulant sur deux itinéraires de sens contraire ou la prise en écharpe de deux trains circulant sur deux itinéraires sécants. Pour ce faire, il convient donc de n'autoriser l'un des deux trains à circuler que jusqu'à un point déterminé au-delà duquel sa présence causerait des dommages à une autre circulation en tenant compte de ses capacités de freinage.

Sur une ligne équipée en signalisation ERTMS, la manière dont les installations au sol gèrent les enclenchements n'est pas décrite dans les STI car elle n'influe pas sur l'interface entre le sol et le bord.

2.2.4.3 Synthèse

La signalisation sur une ligne est la combinaison des fonctions d'enclenchement et d'espacement des trains.

En pleine ligne et sur les lignes ayant de grandes portions linéaires avec peu de zones de postes d'aiguillage, l'espacement est la fonction dominante. L'impact, en termes de débit, du passage du block fixe vers le block mobile est majeur. ERTMS N2, N3H ou N3 permettent par ordre croissant d'améliorer significativement le débit en pleine ligne.

A contrario, sur une infrastructure comportant beaucoup de zones de postes d'aiguillage, où les entrées / sorties de gares ont un poids important avec des dépassements ou des garages de trains induits par l'hétérogénéité des missions, le débit est largement conditionné par les contraintes issues des contraintes des zones de postes, donc des enclenchements.

2.2.5 Les raisons du choix de ERTMS N3 Hybride vs. ERTMS N2 ou N3 intégral pour HPMV

2.2.5.1 Raisons politiques et stratégiques

Le choix de l'ERTMS niveau 3 hybride s'est fait en deux temps. Les études ont d'abord porté sur le déploiement du niveau 2 avec la version la plus récente du référentiel européen (baseline 3.6.0). Puis, suite à la demande du ministre des Transports d'étudier la possibilité d'un déploiement de l'ERTMS niveau 3 satellitaire en lieu et place du projet initial ERTMS 2, une mission d'étude a été commandée à la Direction de l'Innovation du Groupe SNCF. Les conclusions du rapport¹⁴, validées

¹⁴ Rapport Izard, cité en annexe 2.

par la Direction Générale du Groupe SNCF puis par le ministre, ont amené à choisir l'ERTMS 3 hybride, solution considérée comme atteignable dans la même temporalité et à coût équivalent pour la partie infrastructure.

L'ERTMS 3 hybride n'est opérationnel que pour les trains ayant l'équipement nécessaire pour attester en permanence de leur intégrité, mais présente l'avantage de permettre à tous les trains de circuler en niveau 2. Cette caractéristique favorise une évolutivité de la performance de l'exploitation de la ligne au fur et mesure de l'équipement des trains de ce système d'intégrité. Dans les faits, les trains principalement concernés sont les trains du service régional de transports.

Le choix d'ERTMS N3 Hybride par rapport à ERTMS N2 permet effectivement d'améliorer les performances de débit et permet de minimiser les risques coûts et planning par rapport à la solution ERTMS N3 intégral.

Les contre-experts attirent toutefois l'attention sur le fait que ce système ne produira pleinement ces effets que **lorsque tous les trains seront équipés d'un système de contrôle d'intégrité qui n'existe pas aujourd'hui**. De plus, les spécifications de ce système ne sont pas aujourd'hui stabilisées et approuvées par l'ERA.

2.2.5.2 Raisons techniques

Du point de vue technique, l'ERTMS N3H constitue une amélioration significative de l'ERTMS Niveau 2. L'ERTMS N3H est relativement récent et n'entre pas stricto sensu dans la classification européenne. Il a été imaginé par des gestionnaires d'infrastructures désirant améliorer la performance de l'ERTMS Niveau 2 sans pour autant basculer en cantonnement mobile. L'idée sous-jacente est simple : il s'agit de découper virtuellement les cantons physiques en sous-cantons virtuels gérés informatiquement. C'est le principe utilisé classiquement en technologie métro (CBTC ou communication based train control).

Ceci permet d'avoir une localisation plus précise de chaque train et de les rapprocher les uns des autres, sans modifier ou ajouter des équipements au sol. Pour ce faire, le train apporte la preuve, en sécurité, de son intégrité (absence de rupture d'attelage). À défaut, c'est la logique d'espacement du Niveau 2 qui s'applique, entre deux trains. Ainsi, l'infrastructure peut accueillir aussi bien des trains de niveau 2 que des trains de niveau 3 hybride. La performance d'ensemble sera d'autant plus grande que le nombre de trains circulant sur la ligne sont effectivement équipés en niveau 3 hybride, seul moyen d'activer les cantons virtuels.

Le système retenu résulte d'un ensemble de choix validés au fur et à mesure de l'avancement des études à l'échelle du groupe SNCF et en accord avec les principaux partenaires de SNCF Réseau, à savoir l'État et la Région Provence Alpes Côte d'Azur.

Parallèlement au choix d'ERTMS N3H, il a été décidé de déposer la signalisation latérale.

La décision d'abandon de la signalisation latérale s'est imposée très rapidement dans les études préliminaires. Une double signalisation aurait en effet impliqué les désavantages suivants :

- Annulation de tout avantage potentiel en termes de performance : en cas de double signalisation ERTMS/Signalisation latérale, la performance du système est limitée par celle de la signalisation latérale.
- Risque de décalage entre les indications des deux systèmes dans le cas de l'ERTMS niveau 2 ou niveau 3 hybride est particulièrement élevé. En effet, la transmission d'information

dans le cadre de la signalisation latérale passe par les installations au sol alors que dans le cas de l'ERTMS elle passe par le réseau GSM-R ,

- Surcoût d'investissement, du fait de l'absence de synergie réelle entre les deux systèmes très différents,
- Surcoûts d'exploitation et de maintenance, pour les mêmes raisons.

Toutefois, la dépose de la signalisation comporte quelques désavantages et risques.

- Ce choix implique la nécessité pour tous les trains circulant sur l'axe de s'équiper a minima en ERTMS niveau 2 avec une version de baseline, ou spécification, supérieure ou égale à la version 3.4.0. En cas de défaillance de l'une des briques du système de signalisation latérale sur la ligne, il n'est pas possible de s'appuyer sur un système de secours.

Afin de pallier ce risque, les actions suivantes ont été mises en place :

- Les études d'équipements du matériel roulant TER, principal parc concerné, ont été réalisées dès la phase préliminaire en étroite coordination avec les études du projet d'infrastructure,
- Toutes les entreprises ferroviaires ont été prévenues dès 2018 par voie du Document de Référence du Réseau et de réunions d'information de l'obligation qui en découlera pour elles de s'équiper pour circuler sur la ligne Marseille- Vintimille,
- Le matériel roulant du gestionnaire d'infrastructure est prévu équipé dans le cadre du programme national de déploiement d'un réseau haute-performance,
- Tous les points de fragilité connus de ce système sont redondés.

Le choix de déposer la signalisation latérale permet effectivement de minimiser les risques coûts et planning. Comme signalé, ce choix comporte un certain nombre de risques pour lesquels des palliatifs sont proposés. Ce choix impose une étroite coordination avec les opérateurs et un processus rigoureux et raisonné de migration du système actuel vers le système futur.

Recommandation n°1 : Expliciter la nécessité d'établir, avant de déposer la signalisation latérale, une étroite coordination avec les opérateurs et un processus rigoureux et raisonné de migration du système actuel vers le système futur.

À un horizon postérieur à la mise en service de LNPCA, qui apporte les conditions nécessaires à une augmentation des circulations (modification de plans de voies en gare, augmentation de la capacité électrique, augmentation de la capacité de remisage des trains), la succession réduite entre trains permise par l'ERTMS niveau 3 permettra un haut niveau de fréquence des trains TER en heure de pointe. En effet, dans ce créneau horaire la mixité des circulations est moindre qu'en heures creuses. Toutefois, à l'horizon du projet HPMV, le déploiement de l'ERTMS 3 hybride aura essentiellement valeur de démonstrateur de la solution, car seuls 5 trains sont prévus équipés dans un premier temps.

Le projet HPMV doit permettre de valider les normes et standards nécessaires pour déployer la technologie ERTMS N3H sur le réseau conventionnel. Il doit préparer le développement et le déploiement de l'ERTMS niveau 3 dont la maturité sera atteinte après la poursuite des projets d'innovation afférents.

Cependant, les modalités selon lesquelles et le processus par lequel le projet HPMV contribuera au futur déploiement d'ERTMS N3H ne sont pas clairement détaillées.

Recommandation n°2 : Décrire le processus et les moyens humains et techniques nécessaires pour mobiliser l'expérience du projet HPMV en vue d'un déploiement de la technologie ERTMS N3H sur le réseau conventionnel.

De même l'apport du projet HPMV pour le développement et le déploiement dans une phase ultérieure d'ERTMS N3 intégral ne semble pas totalement établi.

Recommandation n°3 : Préciser le processus et les moyens à mettre en place pour s'appuyer sur le projet HPMV pour déployer ultérieurement la technologie ERTMS N3 intégral sur le réseau français.

2.3 Le périmètre de l'opération

Comme indiqué au § 2.1, l'opération porte sur la ligne ferroviaire entre Marseille Blancarde et Vintimille et également les deux lignes régionales à voie unique entre Cannes et Grasse d'une part et entre la Pauline et Hyères d'autre part, ainsi que le tronçon entre Nice Ville et Nice Saint Roch sur la ligne vers Breil.

Le matériel roulant appelé à circuler sur l'axe à l'horizon de la mise en exploitation de ce nouveau système devra être équipé ERTMS « bord », cet équipement n'est pas prévu dans le périmètre de l'opération.

L'opération consiste pour l'infrastructure à :

- Remplacer les 31 postes d'aiguillage actuels par des postes digitaux de technologie ARGOS,
- Centraliser les postes d'aiguillages à Marseille, au sein d'une CCR,
- Installer les équipements associés (Radio Block Center -RBC), compteurs d'essieux, réseaux de transmission à fibres optiques INFRANET et INFRACOM),
- Equiper l'ensemble des sections de ligne concernées en balises de signalisation ERTMS compatibles avec le niveau 3 hybride,
- Déployer une couverture radio haute disponibilité (GSM-R),
- Assurer l'interopérabilité avec le réseau italien, dont le gestionnaire d'infrastructures est Rete Ferroviaria Italiana (RFI), sur la section frontière France – Italie entre les gares de Menton et Vintimille,
- Mettre en œuvre une zone d'essais sol et bord entre Cannes Le Bosquet et Grasse pour validation du système ERTMS Niveau 3 hybride avant mise en exploitation commerciale.

HPMV ne traite que de la modernisation de la signalisation et n'intègre pas d'autres natures d'investissements telles une augmentation de la capacité de traction électrique, des évolutions de plans de voie, des aménagements de passages à niveau, qui pourraient permettre d'envisager un accroissement des trafics.

Le calendrier général prévoit une réalisation du projet en 3 lots successifs d'est en ouest :

- Lot 1 : entre Théoule-sur-Mer-Grasse et Vintimille à fin 2027,
- Lot 2 : entre La Pauline et Théoule-sur-Mer à fin 2028,
- Lot 3 : entre + Marseille et La Pauline à fin 2030.

Figure 5 : Périmètre du projet et planning de déploiement (source : DESE – Sncf Réseau).



Les travaux s'arrêtent à l'est de Marseille (Marseille Blancarde). Le tronçon relatif à la gare souterraine de Marseille n'est pas compris dans le périmètre de l'opération et devra être traité par ailleurs.

2.4 Coût du projet : une évaluation difficile à analyser

Le DESE indique que le coût global du projet HPMV est estimé à 497,6 M€ aux conditions économiques de janvier 2016, hors provision pour risque relatif à la complexité du projet en ERTMS Niveau 3 hybride (haut niveau de rupture technologique) évalué à 31 M€ aux conditions économiques de 2016 : soit en incluant la provision pour risque 529 M€ en valeur janvier 2016 (indice TP 01 : 100,2) et 579 M€ en valeur décembre 2020 (indice 109.8).

Le dossier précise que le besoin de financement exprimé en euros courants dépend :

- du calendrier prévisionnel de réalisation des études et des travaux jusqu'à la date de fin de réalisation,
- de l'évolution des prix sur la base de l'indice TP01 de décembre 2020 (109.8), publié le 20 mars 2021, puis au-delà selon une hypothèse d'actualisation progressive à 1 % en 2021, 2 % en 2022 et à 3 % / an à partir de 2023.

Cette hypothèse d'évolution des prix correspond à la trajectoire décrite dans le référentiel des études socio-économiques de SNCF Réseau.

Tableau 1 : Trajectoire d'évolution des prix.

Inflateur % par an en euros courants	2020	2021	2022	2023 et au-delà
Investissement en infrastructure	0%	1%	2%	3%

On notera que le taux d'actualisation au-delà de 2023 est en première approche voisin du taux d'actualisation recommandé par les derniers travaux publiés sur le site de France Stratégie (3,2% pour les transports).

Le porteur de projet a fourni une décomposition du coût prévisionnel de l'opération entre les 3 lots (dans les réponses aux questions des contre-experts) :

Tableau 2 : Décomposition du coût de l'opération

En k€ HT CE 01/2016	AVP	PRO	REA	TOTAL Prévisionnel
Etudes AVP - Périmètre global du projet (MOE + MOA)	7 297			7 297
Fournitures et Travaux Lot 1		4 300	144 568	148 868
Fournitures et Travaux Lots 2 et 3		4 436	176 293	180 729
MOE Lot 1		14 770	23 847	38 617
MOE Lots 2 et 3		5 362	34 281	39 643
MOA Lot 1		2 310	14 672	16 982
MOA Lots 2 et 3		1 385	4 322	5 707
Provision pour risque Lot 1			29 190	29 190
Provision pour risque Lots 2 et 3			30 581	30 581
TOTAL CE 01/2016	7 297	32 563	457 754	497 614

Sur ces bases, le coût prévisionnel de l'opération mentionné dans le tableur joint au dossier est de 612 M€ en euros courants et se répartit par phase de déploiement comme suit :

- 278 M€ pour le lot 1 entre Théoule-sur-Mer et Vintimille,
- 149 M€ pour le lot 2 entre La Pauline et Théoule-sur-Mer,
- 185 M€ pour le lot 3 entre Marseille et La Pauline.

Le tableur apporte quelques précisions sur la répartition des composantes de l'investissement projeté (sans fournir la décomposition entre les 3 lots) :

Tableau 3 : Répartition de l'investissement par composantes

Répartition des composantes de l'investissement projet	Coût (valeur 2016 en €2019)	Répartition	Durée de vie
ARGOS+CE	152 523 493	26%	50
Routeur+ fibre optique	122 973 975	21%	50
RBC_Eurobalise GSMR	146 397 590	25%	40
Coordination et conception numérique	99 550 361	17%	999
Bât CCR	5 855 904	1%	999
Simplification des systèmes	17 567 711	3%	999
Mistral PCD CCR	40 991 325	7%	25
TOTAL	585 590 359		

Le rapport Iazard (cité en référence) précisait que l'installation de l'ERTMS Niveau 2 ne représentait qu'un tiers environ de l'opération HPMV soit 160 M€. Le reste de l'enveloppe vise la numérisation intégrale de l'axe : poste ARGOS, CCR unique, redondance des transmissions par fibre optique... On retrouve ici globalement des enveloppes et répartitions similaires. Cependant, en l'absence d'indications plus détaillées, il n'est pas possible d'analyser plus avant le coût du projet ou de se prononcer sur la qualité de l'évaluation.

Le coût moyen d'équipement de la ligne ressort à 1,9 M€/km pour 300km (soit environ 1M€ par km de voie). Sans que l'on puisse comparer les deux opérations, l'équipement de la LGV Paris-Lyon HPGVSE était évalué à 1M€/km de voie soit un ordre de grandeur de coût comparable. La Cour des comptes européenne dans le rapport qu'elle a consacré à l'ERTMS en 2017 faisait état d'un coût de déploiement de 100.000 à 350.000 €/km : cette évaluation paraît très inférieure aux chiffres qui ressortent des projets français.

En tant que projet pilote, le projet HPMV intègre des études et opérations dont les résultats pourraient être partagés avec les autres projets de déploiement de l'ERTMS sur les lignes classiques du Réseau Ferré National : les études et processus nouveaux de l'ERTMS N3H sur ligne classique ; l'intégration des systèmes numériques de signalisation ; la cybersécurité du système numérique ; la conduite du changement organisationnel (exploitation et maintenance) ; les formations aux nouveaux systèmes ; les essais fonctionnels sur plate-forme ; les essais dynamiques.

Le caractère très global des chiffres fournis dans le dossier ne permet pas d'apprécier la part des coûts de conception et de réalisation qui pourraient être repris sur des projets ultérieurs.

Aussi les contre-experts ont-ils interrogé le porteur de projet sur ce point. Celui-ci a indiqué en réponse qu' « *en l'absence de programme ERTMS national, la part du coût de l'option de projet attribuable au caractère pilote de HPMV qui pourrait bénéficier des projets ultérieurs ne peut pas être évaluée, et qu'à ce jour, aucun projet comparable n'est attendu avant 2035¹⁵.* »

Il serait pourtant intéressant de dégager, avec la prudence nécessaire, quelques ratios de coût de développement, si le réseau ferroviaire français conserve la perspective de développements ultérieurs de l'ERTMS.

¹⁵ Note : précisions sur les coûts, visée en annexe.

3 Le cadre de l'analyse économique : situation de référence et situation de projet

3.1 Cadrage socioéconomique : le scénario de référence

3.1.1 L'étude tient compte de la stratégie nationale bas carbone et de l'impact COVID

Le scénario de référence pose le cadrage socioéconomique dans lequel s'inscrit la période d'évaluation. Le calendrier de projet prévoit un déploiement échelonné sur la période fin 2027-fin 2031. Le calcul socioéconomique s'établit sur une période démarrant dès les premiers investissements et se poursuivant jusqu'en 2070.

Les hypothèses retenues pour définir le scénario de référence sont classiques et conformes aux recommandations définies dans les fiches outils de la DGITM¹⁶, encadrant le calcul socioéconomique pour les projets de transport.

En particulier on retiendra :

- la prise en compte de perspectives de croissance économique (à laquelle est corrélée la croissance du trafic longue distance) selon le scénario dit AMS (avec mesures supplémentaires), traduisant une volonté de l'État d'accélérer la transition vers une motorisation décarbonée des systèmes de transport selon la stratégie nationale bas carbone de 2019. Ce scénario prévoit la fin de la vente de véhicules thermiques à l'horizon 2040. Cette hypothèse amène à une neutralisation rapide des effets du report modal de la route vers le train sur les émissions de gaz à effet de serre. Les émissions sont nulles à partir de 2050.

On notera que ce type d'hypothèse n'est pas favorable aux projets de transport collectifs. En effet, ces derniers se démarquent, aujourd'hui, des transports individuels mécanisés par des émissions de CO₂ bien inférieures. L'hypothèse de neutralité carbone à 2050 implique une annulation des effets du report modal sur les émissions de GES à partir de cet horizon. Cependant on ne peut reprocher au porteur de projet ces choix d'hypothèses, qui sont conformes aux recommandations de l'État traduites par la DGITM.

- Le scénario AME (avec mesures existantes), qui repousse à 2070 la neutralité carbone pour les modes de transport, fait l'objet d'un test de sensibilité.
- L'impact de la pandémie liée au COVID-19 est également pris en compte, en conformité avec la fiche du 16 juillet 2020 relative aux scénarios provisoires d'évolution du PIB pour la réalisation de tests de sensibilité COVID. La réalité de la pandémie a amené à considérer en scénario central l'un de ces scénarios provisoires, le scénario B, scénario inspiré du scénario Banque de France ; ce scénario prévoit un rebond en 2021 et 2022 avec un écart par rapport à ce qu'aurait pu être la croissance sans Covid, qui atteint 4,2 points de PIB en 2025.

Ce scénario apparaît assez cohérent avec la croissance enregistrée en 2021 (+7% dans le scénario, ce qui est effectivement la croissance observée) et les perspectives pour 2022 (+3,4% selon la banque de France à mars 2022, pour +4% dans le scénario B).

Ce jeu d'hypothèses inclut également la dérive des coûts de transport, tenant compte de l'évolution du prix de l'énergie croisée à l'évolution du parc de véhicules.

¹⁶ Direction générale des infrastructures, des transports et des mobilités du ministère de la Transition écologique.

3.1.2 Les hypothèses n'intègrent pas les coups partis

Selon la note technique du 27 juin 2014 accompagnant l'instruction « Royal », « *le scénario de référence rassemble, sur la durée de projection de l'évaluation, les contextes d'évolution future et exogène au projet, sur les thèmes sociaux, spatiaux, environnementaux, énergétiques et économiques, ainsi que les différents projets d'aménagement, les évolutions de l'offre de transport relevant d'autres maîtres d'ouvrage sont également considérées.* »

Outre les hypothèses macroéconomiques évoquées supra, les divers projets de développement de l'offre de transport connue sur la période de l'évaluation doivent être pris en compte, particulièrement ceux ayant un impact sur la fréquentation de l'axe ferroviaire Marseille Vintimille. L'évaluation ne tient cependant compte d'aucun des projets considérés comme des « coups partis », qu'il s'agisse de projets de transport collectif urbain en intermodalité avec le train aux gares de l'axe, comme de possibles projets routiers en concurrence ou complémentarité avec le train. Les projets de transport collectif urbain sont nombreux sur le territoire, prolongement ou créations de lignes de tramway à Marseille ou Nice Côte d'Azur, création d'un transport en commun en site propre entre les gares de la Garde et de la Seyne à Toulon, mise à 2x3 voies de l'A54 en entrée Est de Toulon, pour ne citer que quelques exemples.

<p>Recommandation n°4 : Les contre-experts recommandent d'intégrer les projets de transports connus et planifiés dans le scénario de référence, en cohérence avec la note technique de la DGITM encadrant l'évaluation socioéconomique.</p>
--

3.2 L'option de référence

3.2.1 L'option technique retenue : le renouvellement du système de signalisation existant

L'option de référence constitue la situation la plus probable en cas de non-réalisation du projet. Elle doit décrire ainsi l'offre de transport ferroviaire attendue sur la période d'évaluation et sur le périmètre du projet, ainsi que les éventuelles opérations de maintenance / développement indispensables à sa mise en œuvre.

Telle que décrite dans le dossier d'évaluation, l'option de référence retenue consiste à mettre en œuvre le programme de régénération des postes et installations de services nécessaires à la pérennité de l'exploitation de la ligne et au maintien des performances nominales. Ces installations arrivant en fin de vie, ce maintien implique d'importants travaux de régénération.

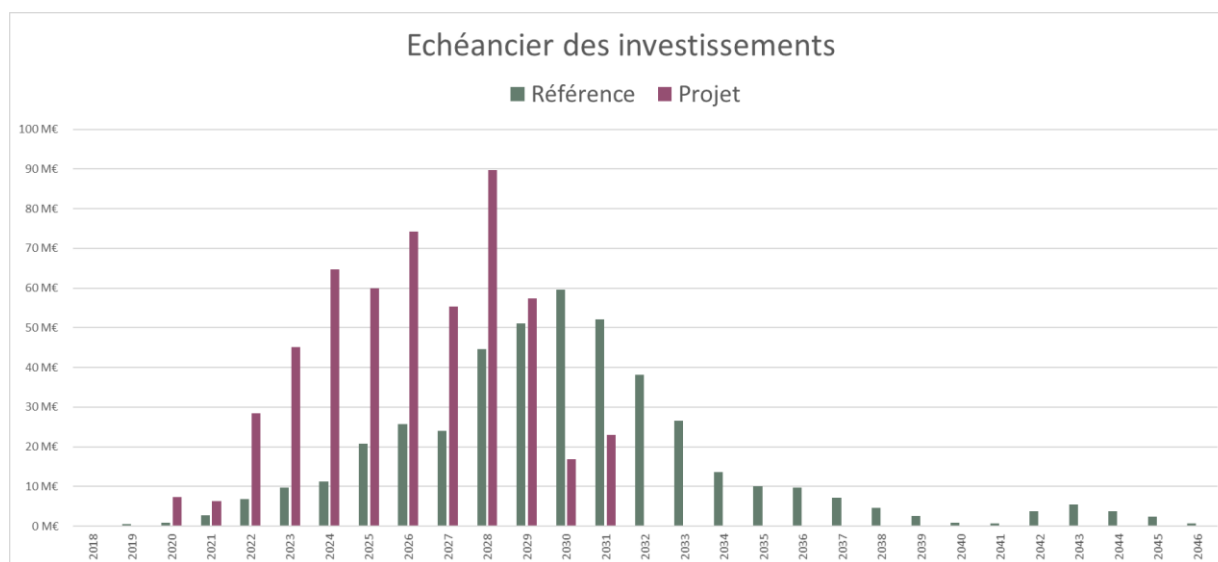
Le choix de renouveler le système BAL existant est cohérent avec le principe de l'évaluation visant à mettre en avant les avantages et coût du système ERTMS face au système préexistant.

3.2.2 Les coûts élevés de la régénération du système BAL

Le coût de la régénération s'élève à 440 M€ (investissements hors maintenance). Il comprend des investissements communs « signalisation latérale, zones de poste et ERTMS » pour un montant de 260 M€, et un coût de régénération du système BAL et signalisation latérale de 180 M€, valeurs exprimées en euros aux conditions économiques de janvier 2016.

Le diagramme ci-après, tiré du tableur de calcul socioéconomique, compare les montants d'investissement en référence et en projet sur une période de 20 ans. On souligne que les montants d'investissement sont d'un ordre de grandeur équivalent : l'investissement lié au déploiement de l'ERTMS n'est que 20% plus onéreux qu'un renouvellement du système de signalisation avec les technologies équipant actuellement la ligne.

Figure 6 : Comparatif des chroniques d'investissement entre référence (BAL) et projet (ERTMS)



Source : SNCF Réseau, tableur socioéconomique

Les investissements de l'option de référence sont considérés comme « éludés » (c'est-à-dire comptés comme des économies) dans l'option de projet puisqu'ils sont déjà considérés, en anticipation, dans la chronique des investissements liés au projet. Ces investissements sont également à renouveler à l'identique en fin de vie, soit 50 ans, pour les équipements ERTMS comme pour les postes.

Ce calcul différentiel pose cependant question sur la période 2020-2030, période pendant laquelle les deux dispositifs BAL et ERTMS sont appelés à coexister jusqu'à l'achèvement complet de l'opération : sachant que le dispositif BAL est obsolète, il semble nécessaire de procéder à un minimum d'investissement au cours de la prochaine décennie, en parallèle du déploiement du nouveau dispositif, pour assurer la continuité des fonctions de signalisation sur l'axe. Les échanges avec SNCF Réseau sur le sujet n'ont pas permis de disposer d'une vision suffisamment claire sur le sujet. Le tableur de bilan n'est pas suffisamment détaillé sur ce thème pour lever nos interrogations.

Recommandation n°5 : Détailler les coûts d'investissement et de renouvellement du système de signalisation sur toute la période d'évaluation, au poste à poste pour l'option de référence comme pour l'option de projet.

3.2.3 Une option de référence basée sur le SA 2019, en décalage avec l'évolution connue des services sur l'axe

L'hypothèse faite sur le choix du système d'exploitation n'est pas suffisante pour décrire correctement une option de référence. Trois éléments manquent dans la présentation.

En premier lieu, les niveaux de service retenus pour toute la durée de l'évaluation sont ceux du SA 2019. Or ces derniers présentent des niveaux de services dégradés par rapport à 2017, notamment du point de vue des temps de parcours. En effet, devant la dégradation du système de signalisation, des marges supplémentaires ont été mises en place en 2019, impliquant des augmentations de temps de parcours de plusieurs minutes sur certains services. La rénovation du système BAL doit logiquement permettre de revenir aux vitesses nominales de 2017, et donc de retrouver les temps de parcours des services pour cet horizon.

Plus étonnante est la non prise en compte de projets de création de haltes ferroviaires telles la halte de Saint Musse à Toulon, ou encore le déplacement de Nice St Augustin facilitant l'accès à l'aéroport. Ces deux haltes sont en chantier (comme l'illustre à titre d'exemple l'extrait du site de SNCF Réseau informant de l'actualité du chantier de la gare de Sainte Musse) et feront de fait bien partie de l'option de référence dans laquelle s'insérera le projet HPMV. La non prise en compte de ces projets, parmi d'autres, constitue une simplification difficilement justifiable.

Figure 7 : Actualité relative à la création de la halte de Saint Musse (source : site de SNCF Réseau).



< NEWSROOM

Création de la halte de Toulon Sainte-Musse du 17 janvier au 12 décembre 2022

ACTUALITÉ Publié le 17/12/2021 - mis à jour le 06/01/2022

SNCF Réseau et SNCF Gares & Connexions réalisent, du 17 janvier au 12 décembre 2022*, les travaux de création de la halte ferroviaire de Sainte-Musse, à mi-chemin entre les gares de Toulon et de La Garde. Cette nouvelle halte ferroviaire à l'est de Toulon, au sein du quartier Sainte-Musse, constituera la seconde gare de la ville, dans un quartier en pleine expansion. Elle sera mise en service le 13 décembre 2022* et permettra notamment de desservir l'hôpital de Sainte-Musse.

Enfin, aucune évolution de l'offre TER ou Grande Ligne n'est prévue sur la période d'évaluation. Il est vrai qu'aucune hypothèse officielle de développement de l'offre ferroviaire n'est disponible à l'horizon de mise en service, ni pour ce qui concerne les grandes lignes, ni de la part de l'autorité organisatrice des transports régionaux, la région Provence Alpes Côte d'Azur, mais le plus probable n'est certainement pas le statu quo. Cependant, et considérant que l'option de référence se limite à la remise en l'état du système de signalisation existant et n'est pas de nature à dégager des capacités supplémentaires, cette hypothèse simplificatrice demeure admissible.

Recommandation n°6 : Intégrer a minima dans l'option de référence les « coups partis » de développement de l'infrastructure ferroviaire sur la ligne, à savoir la création des haltes de Sainte Musse et Saint Augustin, et également les adaptations d'offres associées, probablement connues vu l'échéance très proche de mise en service de ces nouveaux points d'arrêt.

3.3 Les options de projet (1 et 2)

3.3.1 Deux situations extrêmes très théoriques

Le dossier d'évaluation socioéconomique propose deux options de projets pour réaliser le calcul socioéconomique des effets du projet. D'un point de vue technique, chacune se base sur la mise en place de l'ERTMS 3H sur Blancarde – Vintimille. Il n'y a donc pas de différences ni sur l'infrastructure ferroviaire, ni sur le système d'exploitation de cette infrastructure. Cette hypothèse posée, trois dimensions peuvent être retenues pour construire les options de projet :

- la robustesse : il s'agit de déterminer les marges de sécurité entre sillons, potentiellement réduites avec la performance du système ERTMS ;
- les temps de parcours pour les différents sillons : la réduction des espaces entre les trains permise par le sous-découpage en canton virtuels peut permettre d'optimiser les temps de parcours des services ;
- la capacité : il s'agit de profiter de la réduction des marges de sécurité pour créer et exploiter de nouveaux sillons.

Le choix du porteur de projet a été de construire les deux scénarios suivants :

- Un scénario où l'ensemble des gains de performance liés à HPMV est investi dans l'amélioration de la régularité (scénario 1).
- Un scénario où des gains de temps de parcours sont appliqués là où cela est rendu possible par le projet. Ce deuxième scénario permet également quelques gains de régularité.

Aucun de ces deux scénarios ne traite de l'augmentation capacitaire : les niveaux de service ferroviaires sont identiques (en termes de fréquence et de politique d'arrêt) au SA2019 et à l'option de référence. Ces deux options ont pour intérêt de constituer deux approches contrastées. Elles appellent cependant des remarques et réserves de la part des contre-experts.

En premier lieu, les remarques faites précédemment pour l'option de référence relative aux projets « coups partis » demeurent valables. L'application du SA 2019 est purement théorique, dans la mesure où des opérations engagées comme la création des haltes de Ste Musse ou St Augustin existeront de fait à l'horizon du projet.

Deuxièmement, le retour aux vitesses nominales de 2017 semble logique : les dégradations de temps de parcours consenties en 2019 en lien avec la vétusté du système d'exploitation n'ont pas lieu d'être avec un système ERTMS réputé plus fiable et plus performant.

Pour ces deux raisons, l'exercice de l'évaluation socioéconomique proposé par le porteur de projet reste très théorique puisque déconnecté de la réalité de la ligne, et de ses évolutions récentes et prochaines.

<p>Recommandation n°7 : Au même titre que pour l'option de référence, il est nécessaire de tenir compte des opérations déjà engagées (créations de haltes ferroviaires) dans les options de projet.</p>
--

3.3.2 Les évolutions de niveaux de services non intégrées dans le projet

Les contre-experts soulignent que des hypothèses de développement de l'offre ont été définies dans un autre projet récemment soumis à contre-expertise, le projet de Ligne Nouvelle Provence Côte d'Azur, phases 1 et 2. Dans le rapport d'évaluation socioéconomique de la LNPCA, on peut lire que « *Les niveaux d'offre [...] constituent des hypothèses médianes raisonnables des projections d'évolution de services. Le niveau d'offre sera néanmoins défini environ deux ans avant l'année de mise en service par le Conseil régional, autorité organisatrice des transports ferroviaires régionaux, qui le mettra en œuvre à ce moment-là en fonction des opportunités et des choix stratégiques avec le territoire* ». Ces hypothèses formulées pour 2035 prennent en compte le schéma directeur de la ligne à l'horizon 2030+ (hors LNPCA) incluant des projets connexes financés ou à financer dans le cadre du CPER. Cette option de référence de LNPCA, intègre, outre le projet HPMV, un ensemble d'opérations connexes financées dans le cadre du CPER, notamment le projet Mandelieu-Vintimille qui prévoit des améliorations de plans de voies entre Nice et Menton.

Les contre-experts relèvent ici deux difficultés :

- d'une part une incohérence entre les hypothèses retenues par les deux dossiers ESE de HPMV et LNPCA : aucune des deux options de HPMV n'est cohérente avec l'option de référence de LNPCA, au regard du caractère très théorique de l'exercice tel que décrit précédemment ; on s'écarte également du contrat de plan État Région qui guide l'intervention publique sur le périmètre du projet au cours des prochaines années ;
- d'autre part une différence de traitement difficile à justifier : dans un cas (LNPCA) on cherche du mieux possible à construire des jeux d'hypothèses réalistes en termes d'évolution de l'offre de transport à l'horizon du projet, quitte à émettre des suppositions sur l'évolution des fréquences. Dans l'autre cas, on s'interdit toute amélioration des niveaux de service en option de projet, quand bien même l'amélioration capacitaire constitue une des attentes fortes du projet.

<p>Recommandation n°8 : Formuler des hypothèses d'évolution des niveaux de service en cohérence avec le schéma directeur de la ligne et le CPER, et assurant la cohérence avec le dossier LNPCA.</p>

Les contre-experts ont poursuivi cette réflexion en proposant le test de scénarios complémentaires, qui sont détaillés au chapitre 6 ci-après.

4 L'évaluation socioéconomique

4.1 Présentation de la démarche

4.1.1 Cadre général

L'évaluation socio-économique du projet HPMV s'inscrit dans le cadre de l'instruction du Gouvernement du 16 juin 2014 (instruction dite « Royal »). Cette évaluation s'appuie également sur la note technique de la DGITM du 27 juin 2014 et ses fiches-outils et sur divers documents propres au porteur de projet SNCF Réseau, qui a développé sa doctrine pour l'évaluation socioéconomique des projets ferroviaires au sein du référentiel pour le calcul socio-économique de SNCF Réseau dans sa version du 9 d'avril 2021.

Les calculs socio-économiques ont été réalisés en euros constants, c'est-à-dire corrigés de la variation des prix par rapport à une année de référence fixée ici à l'année 2019. L'étude est réalisée sur un périmètre s'étendant jusqu'en 2140, en accord avec les prescriptions de l'instruction Royal.

Ces méthodes sont particulièrement conçues pour évaluer les effets d'un projet de transport « classique » prévoyant de forts gains de temps liés à la création d'une ligne nouvelle par exemple. **Elles sont cependant limitées dès lors que le projet présente un panel d'effets plus variés, ou présente une dimension innovante et expérimentale avant un plus large déploiement, ce qui est le cas de HPMV.**

Les hypothèses de croissance du PIB prises dans le scénario de référence sont celles du référentiel de SNCF Réseau. Le taux d'actualisation est de 4,5%

Le plan de financement n'est précisé que pour la 1^{ère} tranche de 278 M€ :

- Afitf : 15 M€
- PIA 4 : 100 M€
- Europe 60 M€ (dont 9 M obtenus au titre du MIE, mécanisme d'interconnexion pour l'Europe)
- Sncf Réseau : 103 M€.

ce qui correspond au dispositif fixé dans la D.M. de juillet 2021. Le financement des tranches 2 et 3 n'est pas finalisé contrairement à la LNPCA¹⁷.

Le COFP est pris égal à 20%. Le statut de la SNCF fait que son apport n'est pas comptabilisé dans les fonds publics. Le PFRFP est pris égal à 0, ce que le porteur de projet justifie par le fait qu' en l'absence d'information sur les sources de financement du projet, le prix fictif de rareté des fonds publics peut ne pas être pris en compte.

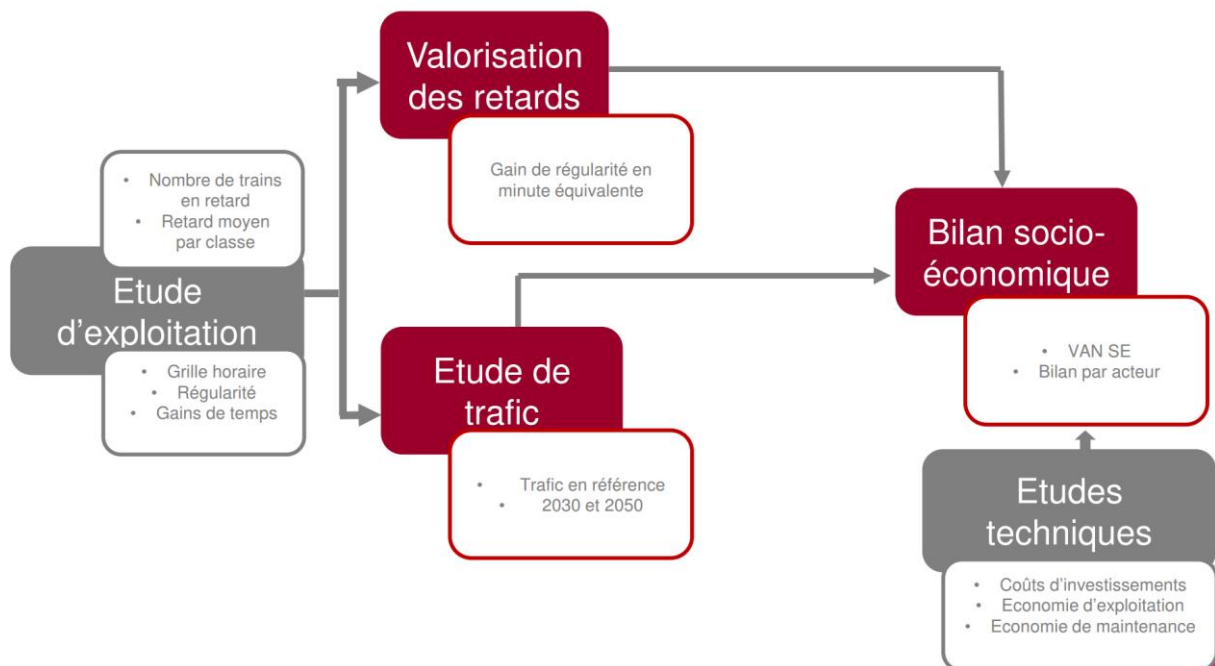
4.1.2 Les principes du calcul

Le schéma suivant présente les principes généraux du calcul socioéconomique. Il souligne que les études de robustesse alimentent à la fois études de trafic et bilan socioéconomique :

¹⁷ Pour laquelle un protocole de financement global a été signé le 28 février 2022.

- Dans le modèle de trafic, les gains de temps liés à la retente des circulations ferroviaires ainsi que la valorisation des gains de points de régularité permettent de déterminer les voyageurs supplémentaires.
- Dans le bilan socioéconomique, on traduit la valorisation des retards selon les principes de la fiche outil relative à la valorisation de la fiabilité, nous y reviendrons plus loin.

Figure 8 : Principes de l'évaluation socioéconomique



Les deux paragraphes suivants abordent successivement méthodes et résultats de l'étude d'exploitation, puis de l'étude de trafic, avant d'analyser le bilan socioéconomique.

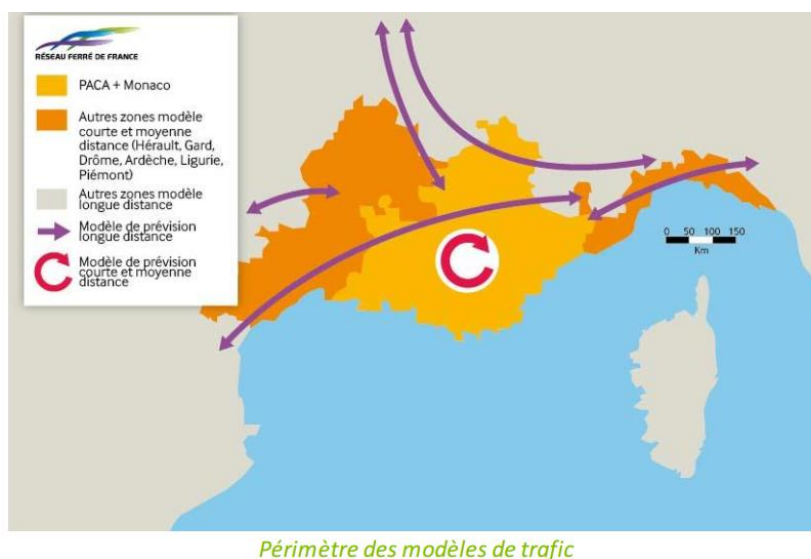
4.2 Les modèles de trafic

4.2.1 Des modèles de prévisions de trafic à 4 étapes classiques

Les prévisions de fréquentation sont établies par SNCF Réseau à l'aide de deux modèles calés sur la situation de 2019 :

- Un modèle dérivé du Modèle National Voyageurs SNCF Réseau pour la longue distance, à savoir les flux d'échange entre la Région PACA et les départements autres que ceux qui sont limitrophes de la Région et les flux de transit dans la Région PACA. Ce modèle est composé de 291 zones. Les trafics modélisés sont des trafics annuels, ventilés en quatre motifs de déplacement : Professionnel (y compris Domicile-Travail/Etudes), Week-end, Vacances et Autres motifs personnels.
- Un modèle dérivé du Modèle Régional de Trafic PACA, pour les déplacements de courte et moyenne distance. Il est utilisé pour alimenter les prévisions sur les flux internes à la Région PACA et entre la Région PACA et les départements limitrophes (Gard, Hérault, Drôme, Ardèche, province de Ligurie et la partie sud de la province de Cuneo pour la ligne Nice-Tende/Vintimille – Cuneo). Doté de 620 zones, le modèle distingue quatre motifs de déplacement : Domicile – Travail, Domicile - Etudes, Professionnel et Personnel.

Figure 9 : Périmètre des modèles de prévision de trafic

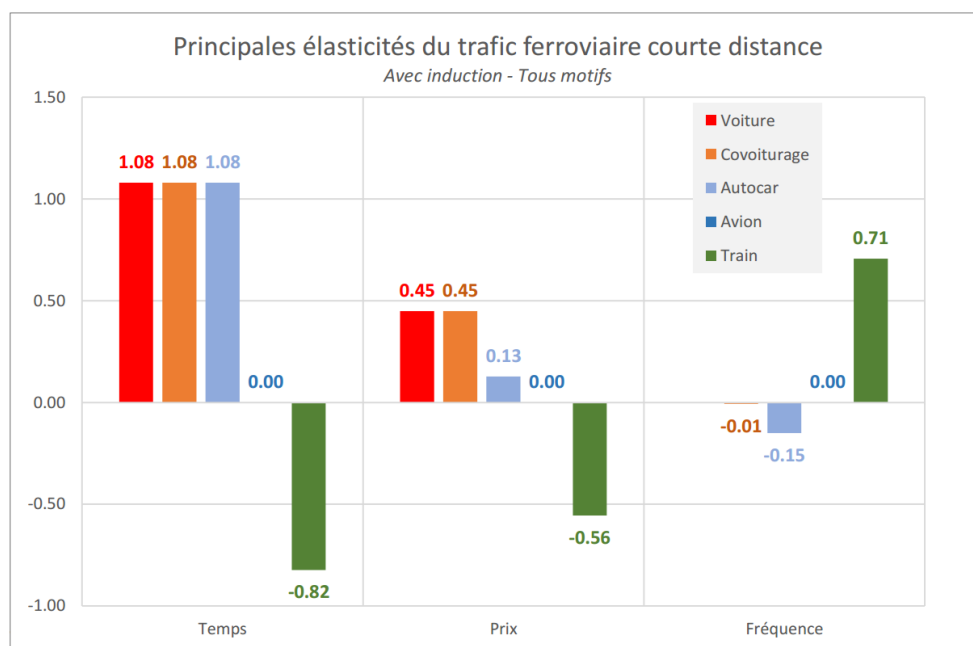


Source : HPMV – rapport technique socioéconomique p15

Dans leur architecture, ces deux modèles sont assez classiques. La principale différence entre les deux est que le Modèle National envisage le choix modal entre 5 modes principaux (voiture individuelle, covoiturage, train, autocar longue distance et avion), le train longue distance étant décomposé en 2 sous-modes (1^{ère} classe et 2^{ème} classe), tandis que le Modèle Régional est caractérisé par 8 sous-modes.

Le choix du maître d'ouvrage a donc été de mettre à jour des outils de prévisions de trafic ferroviaire existants, conçus pour réaliser des prévisions de trafic de moyenne et longue distance. Le dispositif mobilisé est à le même que celui retenu pour les études de LNPCA. Ce choix permet a priori d'assurer la cohérence entre les deux évaluations. D'une facture très classique, ces modèles sont conçus pour réaliser des prévisions de trafic pour des améliorations de niveaux de service (augmentation des fréquences, gains de temps, évolution des prix, etc.). Le tableau suivant rappelle les élasticités du modèle régional aux variables temps, prix et fréquence. Les valeurs obtenues sont dans le domaine de validité de ce type de sensibilité. On notera toutefois une forte élasticité aux fréquences (+0,71), ce qui traduit par exemple une augmentation de 71% de la demande si on double les fréquences. Ceci souligne l'intérêt de proposer des solutions d'augmentation des fréquences sur ce territoire dense où le potentiel de report modal depuis la voiture individuelle est important.

Figure 10 : Élasticité du trafic aux principales variables



Source : compléments techniques apportés par SNCF Réseau

Les effets attendus pour HPMV, dans les limites définies par les deux options de projets proposées, sortent de ce cadre classique temps / prix / fréquence : il s'agit pour l'essentiel d'une amélioration de la régularité, occasionnant des gains de temps modestes, voire parfois peu perceptibles pour le client. Et comme vu précédemment, les hypothèses retenues conduisent à ne pas tirer profit de l'ERTMS pour augmenter les fréquences. Ainsi les contre-experts se sont interrogés sur la pertinence de l'usage d'un modèle à 4 étapes classique pour évoluer un tel projet innovant.

4.2.2 La prise en compte de la régularité dans les modèles

Dans les modèles ici utilisés, la performance de chaque mode de transport en concurrence se mesure au travers d'un coût généralisé : il inclut le coût de transport et les différents temps caractérisant le trajet (temps dans le véhicule, temps de rabattement / diffusion, temps de correspondance...) au moyen de l'application d'une valeur du temps. Ainsi toute variable que l'on peut traduire sous forme de temps peut ensuite être monétarisée.

Certaines variables caractérisant le déplacement sont plus difficiles à intégrer sous forme de temps : il s'agit des fréquences, mais aussi de la régularité.

On traduit classiquement les fréquences en l'intervalle de temps entre deux services. C'est bien cette démarche qui est retenue ici.

Pour ce qui est de la régularité, dans le modèle, celle-ci intervient sous forme de matrices gare à gare. Ces matrices ont été générées à partir d'une extraction de la base BREHAT¹⁸ permettant de déterminer la classe de régularité. Pour les horizons futurs, la régularité est tirée des études d'exploitation. Un redressement est effectué pour régler les problèmes de cohérence entre

¹⁸ BREHAT : Base des Résultats de l'Exploitation Habiles à d'Autres Tâches, est l'outil de suivi des circulations de SNCF Réseau. Il s'agit de la source officielle du suivi de la régularité des trains pour SNCF Réseau et les entreprises ferroviaires.

traitement BREHAT et modélisation du système BAL en option de référence, ce dernier fournissant des classes de retards plus agrégées que la base BREHAT. Ces classes de régularités sont agrégées par grandes relations : la figure ci-après synthétise la méthode employée.

Figure 11 : Principes de traitement de la régularité dans la modélisation de la demande



Source : Compléments fournis par SNCF Réseau

Les gains de régularité sont traduits dans les formulations du modèle pour tenir compte de résultats d'enquêtes menées en PACA sur la sensibilité des voyageurs aux retards des trains. En moyenne, la fréquentation augmente de 3,7% par point de régularité gagné.

Les tableaux montrent l'évolution du taux de régularité entre référence et projet.

Tableau 4 : Évolution des taux de régularité entre référence et projet (scénario 1), par classe de retard

Référence

Régularité Ref 2019	R0_5	R5_10	R10_15	R15_20	R20+
Marseille-Nice IV	83.4%	6.6%	2.8%	1.8%	5.4%
Marseille-Aubagne	98.3%	0.9%	0.4%	0.2%	0.3%
Marseille-Toulon-Hyères	85.8%	8.3%	2.4%	1.1%	2.4%
Toulon-Les Arcs	87.9%	6.1%	2.2%	0.8%	3.0%
TER Côte d'Azur	92.0%	3.2%	1.5%	0.8%	2.5%

Projet

Régularité ERTMS 2019	R0_5	R5_10	R10_15	R15_20	R20+	Ecart R0_5 par rapport à la ref
Marseille-Nice IV	84.9%	6.0%	2.5%	1.6%	4.9%	1.5%
Marseille-Aubagne	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.7%
Marseille-Toulon-Hyères	86.7%	7.8%	2.3%	1.0%	2.3%	0.9%
Toulon-Les Arcs	88.8%	5.6%	2.0%	0.8%	2.8%	0.9%
TER Côte d'Azur	93.0%	2.8%	1.3%	0.7%	2.2%	0.9%

On notera que les taux de régularité à 5mn sont déjà très bons en référence, et sont assez peu améliorés par le projet, avec des gains de maximum de 1,7 pts de régularité (sur Aubagne-

Marseille, pour atteindre un taux de 100% certainement très théorique). La régularité à 98% recensée ici est d'ailleurs très éloignée du ressenti local, et des statistiques de régularité observées depuis 10 ans sur la ligne¹⁹. De telles analyses montrent certes une amélioration de la régularité, mais pas à la hauteur des attentes exprimées pour le projet HPMV.

4.2.3 Les résultats de prévision de trafic

En complément des gains de régularité qui n'excèdent pas 1,7 points quelle que soit l'option, la retente sur les marches des trains permet en option 2 de proposer des temps de parcours optimisés, jusqu'à 12mn sur les relations de plus longue distance. Ainsi, les gains de temps de parcours bénéficient principalement aux voyageurs longue distance, et peu aux voyageurs du quotidien qui demeurent les plus nombreux.

Sur cette base, les gains de clientèle ferroviaire demeurent très limités, +0,9% pour l'option 1 et +2,8% pour l'option 2.

Tableau 5 : Prévisions de trafic ferroviaire pour les options de référence et de projet

Trafic ferroviaire en millions de voy/an	Option de référence	Option 1 (Régularité seule – OR)	Option 2 (avec temps optimisés – OTO)	Evol Ref / OR	Evol Ref / OTO
Interne 06	13.8	14.1	14.6	1.8%	5.2%
Interne 83	1.4	1.4	1.5	2.3%	6.4%
Interne 13	7.4	7.4	7.5	0.9%	2.1%
Monaco - 06	8.2	8.3	8.5	1.3%	3.6%
13 - 83	3.4	3.4	3.6	1.3%	5.4%
13 - [06 + Monaco]	0.8	0.9	0.9	2.5%	9.2%
83 - [06 + Monaco]	1.7	1.7	1.8	3.1%	5.7%
Autres interne PACA	5.0	5.0	5.0	0.3%	0.5%
Interne PACA	41.7	42.3	43.4	1.4%	3.9%
PACA – externe + transit	29.4	29.5	29.8	0.1% ²	1.2%
Total PACA	71.1	71.8	73.2	0.9%	2.8%

Observation 2 : Les résultats fournis par le modèle ne permettent pas de démontrer l'intérêt de HPMV pour déployer une offre de services ferroviaires plus performante, capable de modifier radicalement la répartition modale au profit des transports collectifs. À ce stade, il semble cependant que ce soit le choix du jeu d'hypothèse retenu par SNCF Réseau qui amène à ce constat et non le dispositif de signalisation lui-même.

¹⁹ Comme rappelé note 8, la régularité à 5mn des TER en région PACA est en moyenne de 86% entre 2013 et février 2022 contre 91,5% à l'échelle nationale sur la même période.

4.3 Étude de robustesse

4.3.1 Principes méthodologiques

L'étude de robustesse faite par la SNCF a pour objectifs d'identifier l'apport de la technologie ERTMS en comparaison avec le système BAL/KVB actuel sur la régularité, mesurée par la stabilité de la grille horaire en cas de perturbations.

Elle repose sur des tests stochastiques consistant à injecter des perturbations aléatoires soit dans les gares origines, soit dans certaines gares du parcours ainsi que sur des tests unitaires consistant à injecter des perturbations déterministes en certains points critiques.

Les scénarios d'infrastructure et de plans de transport étudiés et simulés dans le cadre de cette étude sont les suivants :

- Infrastructure de référence BAL/KVB,
- Infrastructure 2030 (ERTMS de Marseille Blancarde à Vintimille) ;
- plan de transport 2019,
- plan de transport 2019 optimisé à l'infrastructure ERTMS.

Les tests stochastiques permettent de comparer la stabilité des différentes grilles sur les différentes configurations d'infrastructure.

L'étude de robustesse a été réalisée conformément à la méthodologie et avec les outils disponibles classiquement utilisés par la SNCF (Denfert, TPS/Disco,)

Ces outils sont décrits à l'annexe 6.

4.3.2 Périmètres et limites de l'étude

Le périmètre géographique de l'étude comprend les lignes suivantes :

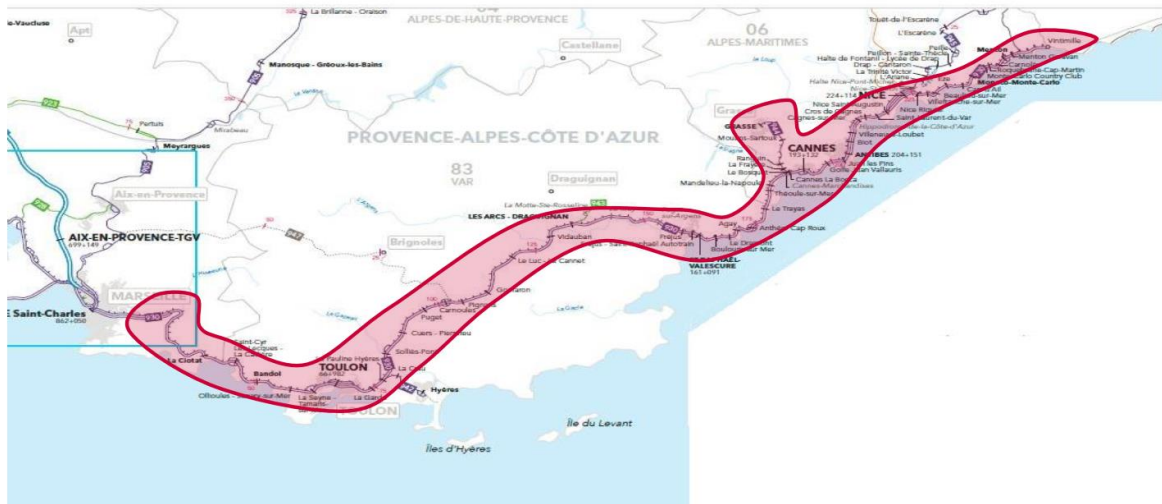
Pour la simulation stochastique :

- Ligne Marseille Vintimille (n°930.000), sur le tronçon Marseille-Blancarde - Vintimille
- Ligne Grasse – Cannes Voyageurs (n°944.000)
- Ligne Nice – Breil (n°945.000) sur le tronçon Nice – St Roch

Pour les tests unitaires :

- Ligne Marseille-Hyères (n°942.000)

Figure 12 : Périmètre de l'étude de robustesse



L'étude présente les limites suivantes :

- Pour les tests de stabilité, les injections de retard ne portent que sur des retards de moins de 5 minutes (au-delà de 5 minutes, la propagation des retards est en effet mal gérée par le logiciel Denfert). Cela exclut les incidents dûs aux installations de signalisation dont la durée de réparation -et donc le retard engendré- est toujours supérieur à 5 min, sauf cas tout à fait exceptionnel. Cela revient à considérer que dans la solution de référence les installations de BAL/KVB sont neuves et parfaites. De même, sont exclus de l'étude les trains supprimés alors que sur ces lignes le taux de suppression de trains est l'un des plus élevés de France. Comme l'ESE ne prend en compte que les gains de régularité, ceci conduit à des résultats sous-évalués.

Recommandation n°9 : Ne pas se limiter dans les calculs aux retards égaux ou inférieurs à 5 minutes.

- La gare de Marseille St Charles n'est pas modélisée, le GOV (Graphique d'Occupation des Voies) et les contraintes de cette gare ne sont donc pas pris en compte dans cette étude.
- Également, les contraintes de GOV de la gare de Vintimille (Italie) ne sont pas modélisées. Ces deux limites conduisent vraisemblablement à surévaluer les gains de régularité apportés par ERTMS.
- Lorsque les données ERTMS ne sont pas disponibles, des hypothèses ont été formulées et mentionnées dans ce rapport.
- Les LTV (limitations temporaires de vitesse) ne sont pas prises en compte dans la modélisation de l'infrastructure, de même que les sections concernées.
- En absence de données pour l'horizon 2030, les circulations FRET ne sont modélisées dans aucun scénario.

4.3.3 Modélisation de l'infrastructure

Afin d'étudier les différents scénarios, deux versions d'infrastructure ont été modélisées :

- Situation de référence : Infrastructure 2019 modélisée à partir des schémas de signalisation actuels. La situation correspond à l'infrastructure actuelle : signaux, vitesses de fond de ligne, gradients etc. Les limitations temporaires de vitesse (LTV) ne sont pas prises en compte dans la situation de référence.
- Scénario cible, horizon 2030 : Infrastructure cible 2030 (ERTMS de Marseille Blancarde à Vintimille) modélisée à partir des préprogrammes signalisation ERTMS.

Sur l'ensemble du périmètre d'étude, les hypothèses suivantes ont été prises en compte :

- le régime de voie banalisée est en œuvre avec l'ERTMS.
- La modélisation de l'infrastructure démarre de Marseille-Blancarde et n'intègre pas Marseille-St-Charles.
- la voie G à Nice Ville reste équipée en BAL et permet de recevoir les trains en provenance de la ligne Nice-Breil sans recourir à la signalisation ERTMS.

4.3.4 Hypothèses et facteurs pris en compte pour la modélisation

Le détail des hypothèses et des facteurs pris en compte pour la modélisation est décrit à l'annexe 7.

4.3.5 Plan de transport étudié

Pour mettre en évidence les impacts sur la régularité de la nouvelle infrastructure ERTMS, on compare les résultats de stabilité entre différentes grilles horaires. L'ensemble des grilles suivantes a été construit avec du matériel TER 2N NG et TGV 2N2 :

- Grille SA 2019 simulée sur une infrastructures BAL (situation de référence) ERTMS.
- Grille SA 2019 simulée sur une infrastructure ERTMS. Cette grille est identique à celle simulée sur l'infrastructure BAL.
- Grille SA 2019 « adaptée à la nouvelle infrastructure ERTMS », « adaptée à l'ERTMS » avec Infra et temps de parcours ERTMS.

Cette grille conserve le nombre de circulations et les attaches horaires du SA 2019 dans les gares origine, mais exploite au mieux les possibilités offertes par l'ERTMS (révision des détentés de construction horaire, tracé correspondant aux nouvelles vitesses limites, suppression de certaines domestications des sillons rapides, temps système ERTMS...). Il s'agit d'une grille théorique offrant d'importants gains de temps de parcours sur les parcours TGV et Inter-villes Nice-Marseille, en limitant la domestication des sillons rapides du fait des marges de construction. Cette grille est simulée sur l'infrastructure ERTMS.

4.3.6 Grille horaire utilisée

La grille SA 2019 est obtenue à partir d'une extraction depuis l'outil TPS/Disco. La journée du mercredi 18 septembre 2019 est prise comme référence pour le plan de transport 2019.

La grille SA 2019 est donc constituée de l'ensemble des sillons ayant été tracés pour cette journée du 18 septembre 2019, y compris les trains techniques. Les sillons Fret n'ont pas été activés pour les simulations de cette étude.

Sur l'ensemble de la journée, 354 trains sont simulés sur le périmètre Marseille-Vintimille pour cette grille SA 2019, tout sens confondus. On a à titre d'exemple :

À Cannes entre 7h30 et 8h30 :

- Sens Pair : 4 TER (dont 1 origine CAV) et 1 TGV
- Sens Impair : 4 TER

À Monaco entre 7h30 et 8h30 :

- Sens Pair : 4 TER et un train technique
- Sens Impair : 4 TER et 1 Thello.

Ligne Cannes Grasse en Heure de pointe :

- 2 TER/h et par sens Passage à La Seyne entre 7h et 8h :
- Sens Pair: 2 TER Hyères-Marseille, 1 TER Semi Direct Les Arcs-Marseille, 1 TER Interville Nice- Marseille, 1 TGV
- Sens Impair: 2 TER Marseille-Hyeres, 1 TER Interville Marseille-Nice.

4.3.7 Résultat final de l'étude de robustesse et limites

4.3.7.1 Apport de la nouvelle infrastructure à plan de transport équivalent :

À plan de transport équivalent, on observe donc une légère amélioration de la régularité à 5 mn en ERTMS, celle-ci étant déjà supérieure à 98% pour la plupart des cas en BAL. L'apport de l'ERTMS est principalement constaté au niveau des petits retards à 1' et à 3', pour lesquels on a un gain de régularité significatif.

Généralement, on a peu de propagations des petits retards injectés, ce qui explique le bon taux de régularité en BAL à 5' et par conséquent la faible amélioration apportée par l'ERTMS pour les retards de plus de 5'.

4.3.7.2 La nouvelle grille « 2019 » adaptée à l'ERTMS :

La régularité globale de la grille « adaptée ERTMS » reste meilleure que celle de la situation de référence BAL, malgré la réduction importante des détentés de construction horaire et donc la réduction de temps de parcours sur l'ensemble de la ligne.

Sur une infrastructure ERTMS, la grille adaptée à l'ERTMS s'avère tout de même moins robuste que la grille « SA 2019 » en ERTMS. La nouvelle grille crée de nouveaux conflits entre les trains (trains directs doublant des trains omnibus, convergence à Cagnes/Mer...).

La nouvelle grille offre par contre un important gain de temps de parcours notamment pour les missions TGV et Interville (de 5 à 18 minutes), grâce à une réduction des détentés de construction horaire, tout en conservant la norme de 4,5min /100km.

Il serait intéressant de comprendre la raison de la présence de marges aussi importante aujourd'hui (part de travaux, domestications nécessaires sans ERTMS pour permettre de tracer l'ensemble des sillons...).

À noter, sur cette grille retravaillée sur une infrastructure ERTMS, on obtient un gain de temps de parcours important sur les missions long parcours (environ 10min) grâce à une retente des marches.

Observation 3 : Bien que ce ne soit pas son objectif, l'étude de robustesse montre bien, (notamment les chapitres 3.1 et 3.2 et le paragraphe 3.1.4) l'intérêt d'ETCS N3H pour la réduction des temps de parcours.

4.4 Les résultats de l'évaluation socioéconomique

4.4.1 Les outils utilisés

Les calculs socio-économiques ont été réalisés dans un tableur reprenant les principales données et résultats permettant de calculer la VAN-SE, et développés sous Excel, selon l'usage. Les contre-experts ont pu avoir accès à ce fichier.

Le tableur est globalement lisible et paramétré pour pouvoir réaliser des tests de sensibilité, pour en apprécier le poids sur la VAN. En ce qui le concerne, les contre-experts n'ont pas identifié de lacune majeure ou d'erreur, mais regrettent :

- Le nombre conséquent d'onglets (près de 25), qui nuit à sa lisibilité.
- Un code couleur différenciant hypothèses, calculs et résultats, en soi pertinent, mais en pratique pas toujours respecté.
- Des intitulés de chroniques pouvant porter à confusion, particulier pour ce qui concerne les investissements en référence et en projet.
- La présence de nombreuses données issues de calculs réalisés en dehors du tableur et auxquels l'utilisateur ne peut pas avoir un accès immédiat.

Observation 4 : Les différents pièces et outils mis à disposition des contre-experts par SNCF Réseau indiquent que le travail a été réalisé de manière sérieuse et très documentée.

4.4.2 Bénéfices et coûts considérés

Sont pris en compte dans l'analyse :

- les usagers de lignes TGV et TER, ce qui s'étend au-delà du périmètre considéré
- les gains de temps et de fiabilité liés à la robustesse des grilles horaires,
- les économies de charges d'entretien, de maintenance et de renouvellement,
- les investissements érudés,
- les effets environnementaux et notamment les cas de décongestion routière et l'impact sur le trafic aérien.

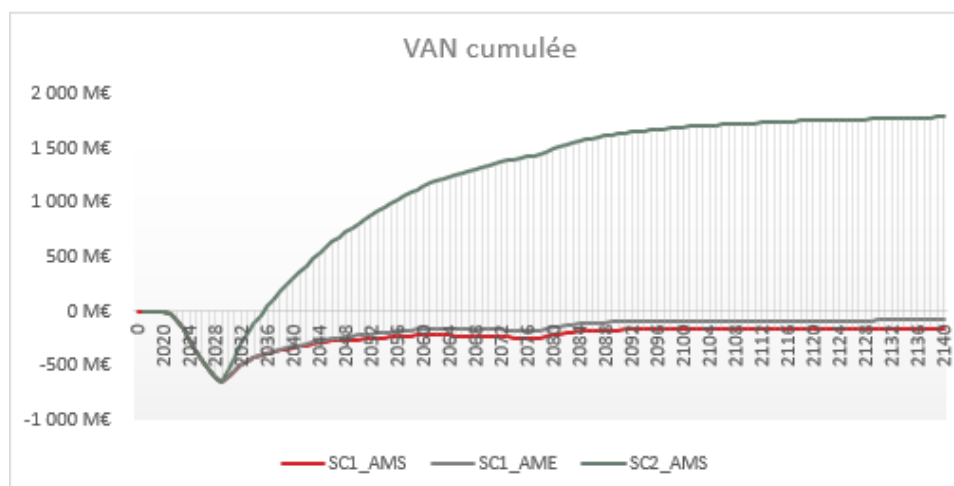
4.4.3 Indicateurs

Les indicateurs retenus pour mesurer l'intérêt du projet pour la collectivité sont :

- la Valeur Actuelle Nette Socio-Économique (VAN-SE) du projet ;
- la VAN-SE par euro investi
- la VAN-SE par euro public dépensé ;
- le Taux de Rentabilité Interne (TRI) qui est le taux d'actualisation qui annule la VAN-SE; ce TRI est de 3.2% dans le scénario 1 et de 13% dans le scénario 2.
- et la date optimale de mise en service.

Dans le scénario 1 AMS (régularité seule), la VAN-SE du projet est négative (-158M€), elle est de 1781 M€ dans le scénario 2²⁰. Les résultats sont évidemment moins bons, et même franchement négatifs avec mesures existantes (AME).

Figure 13 : Diagramme de VAN Cumulée comparant scénarios 1 AMS, scénario 1 AME et scénario 2 AMS



Source : tableur socioéconomique

4.4.4 Le bilan par acteur

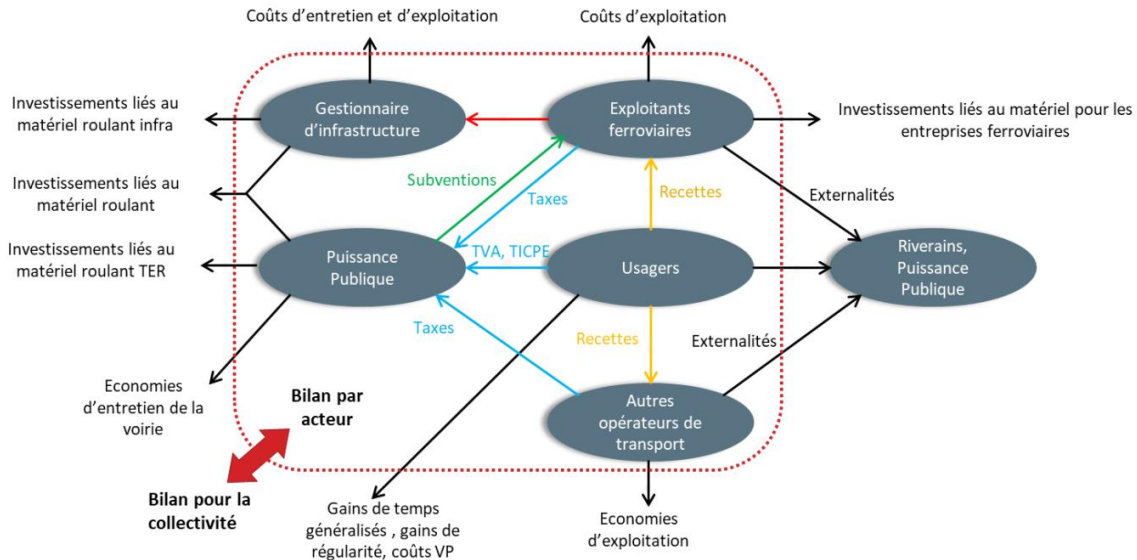
4.4.4.1 Cartographie des acteurs

Le schéma ci-après présente la cartographie des acteurs pris en compte dans le calcul socioéconomique. On tient ici compte des acteurs ferroviaires que sont le gestionnaire d'infrastructure, et les exploitants (entreprises ferroviaires en charge de l'exploitation des trains régionaux et grandes lignes). Les usagers sont bien sûr pris en compte. Les autres opérateurs sont les acteurs de transports concurrents ou complémentaires au train (TCU, route, aérien). La puissance publique est représentée comme percepteur de taxes, mais aussi comme autorité organisatrice des transports régionaux (Région PACA). Les externalités sont imputées aux riverains (pollution, nuisances sonores) et à la puissance publique (émissions GES, insécurité routière).

²⁰ D'autres scénarios ont été réalisés à la demande des contre-experts, et sont détaillés en fin de chapitre.

On notera que les acteurs du fret, pour lesquels les enjeux sont plus limités mais sans doute non nuls, ne sont pas pris en compte.

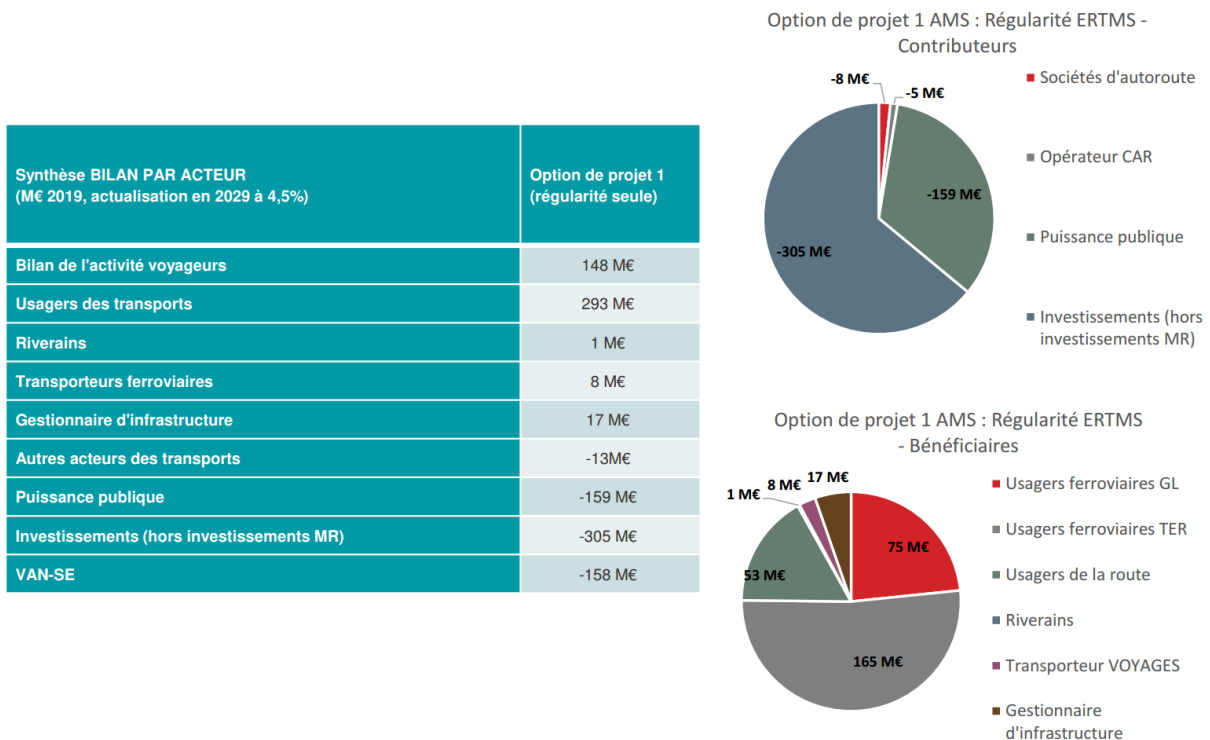
Figure 14 : Cartographie des acteurs pris en compte dans le bilan socioéconomique



4.4.4.2 Résultat du bilan par acteurs

Le tableau suivant montre le résultat du bilan socioéconomique, pour l'option de projet 1.

Figure 15 : Bilan socioéconomique pour l'option de projet 1



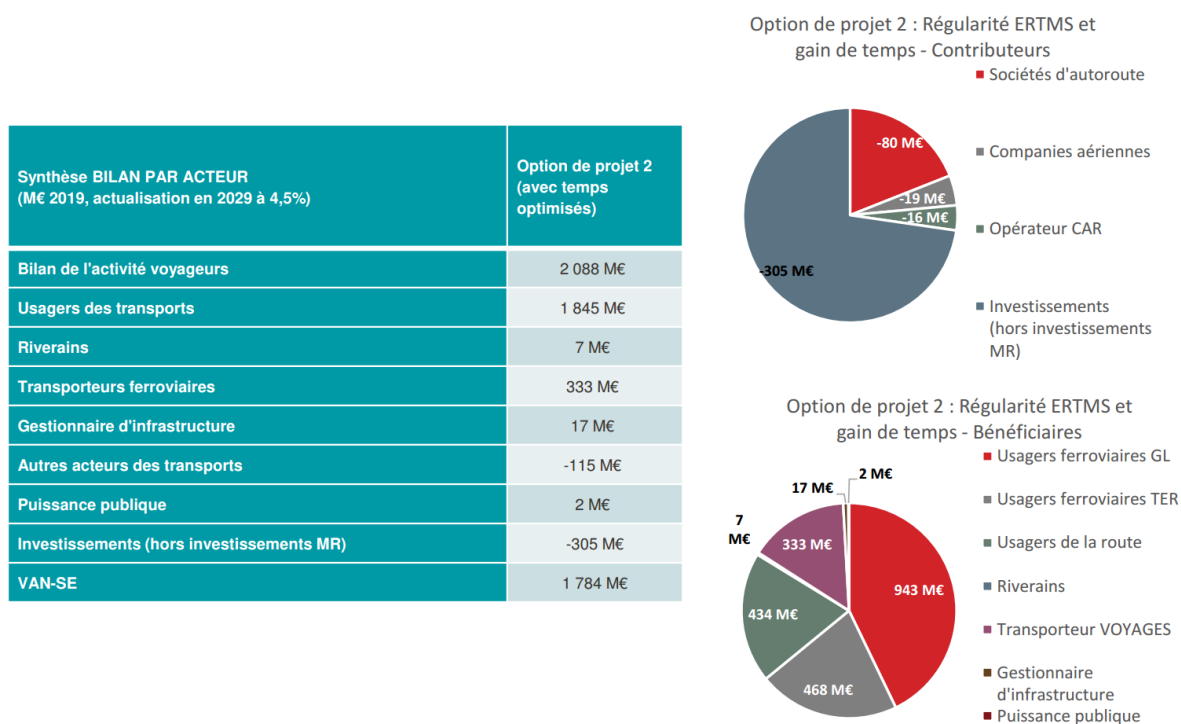
La somme des avantages et coûts amène à une VAN négative de -158M€, montrant que la rentabilité socioéconomique du projet en option 1 n'est pas démontrée. Ainsi, **en ne considérant que les gains de régularité pour les petits retards, le projet ne dégage pas suffisamment**

d'avantages pour démontrer son intérêt socioéconomique. Les gains de l'activité voyageurs (148M€ correspondant à tous les postes sauf investisseur) ne compensent pas ce dernier (-305M€). On note en particulier des gains modestes pour les usagers des transports : +293 M€ dont une partie (53M€) est liée à la décongestion routière. Les gains liés à l'exploitation de la ligne (poste gestionnaire d'infrastructure) sont limités à 17M€, ce qui ne permet pas de démontrer l'intérêt de consentir à un tel investissement pour des réductions de coûts de maintenance et d'exploitation aussi modérés.

En option de projet 2, la VAN socioéconomique ressort très positive, à 1784 M€, avec des gains fortement portés par les usagers des transports et les transporteurs ferroviaires.

- Les gains de temps dégagés par le projet, appliqués essentiellement aux voyageurs de longue distance qui ont par ailleurs une valeur du temps plus élevée que les voyageurs du quotidien, expliquent ce résultat. On notera le poids important des gains pour les usagers de la route (+434M€) attribué à la décongestion due au report modal Route -> train, effet peu attendu pour ce projet et dont l'importance pose régulièrement question dans ce type de calcul.
- Les gains pour les exploitants ferroviaires sont liés aux recettes supplémentaires (grandes lignes).

Figure 16 : Bilan socioéconomique pour l'option de projet 2



In fine, la comparaison entre les deux scénarios amène à une VAN qui serait comprise entre -158 M€ et +1784M€, selon les hypothèses d'optimisation de temps de circulation que pourront retenir les exploitants dans leurs schémas de services. **Ce « grand écart » permet difficilement de conclure sur la rentabilité socioéconomique du dispositif avec ces deux scénarios.** C'est pourquoi les contre-experts ont demandé que d'autres scénarios soient étudiés, ces derniers sont décrits par la suite.

4.5 Les facteurs mobilisés

4.5.1 La valorisation des avantages pour les usagers

4.5.1.1 Le traitement de la fiabilité

Comme vu précédemment, les études de robustesse incluent deux types de tests : d'une part les tests stochastiques proposant une distribution aléatoire de petits retards et mesurant la capacité des systèmes BAL (en référence) et ERTMS (en projet) à limiter et résorber les retards. D'autre part les tests unitaires entraînant des retards plus conséquents, voire des suppressions de train.

Le choix de ne traiter que les gains de l'ERTMS dans la réduction des petits retards interroge, puisqu'on parle de retards n'entraînant pas de perturbation majeure dans l'itinéraire des voyageurs. On peut d'ailleurs considérer qu'en deçà de 2mn, les retards sont peu ou non perceptibles pour le voyageur.

Le tableau ci-après présente les gains de régularité pour les usagers TER sur 5 segments de la ligne Marseille Vintimille et la valorisation associée. OR signifie option « régularité seule », ou scénario 1 ; OTO option temps optimisés, en d'autres termes scénario 2.

Tableau 6 : Gains de régularité valorisés pour les usagers TER en options de projet

Périmètre	Vdt 2030 (€2016 valeur 2030/h)	Gain heure 2030 (retard moyen, OR)	Gain heure 2030 (retard moyen, OTO)	Gain heure 2030 (var. comp, OR)	Gain heure 2030 (var. comp, OTO)	Gain M€ ₂₀₁₆ 2030 (retard moyen, OR)	Gain M€ ₂₀₁₆ 2030 (retard moyen, OTO)	Gain M€ ₂₀₁₆ 2030 (var. comp, OR)	Gain M€ ₂₀₁₆ 2030 (var. comp, OTO)
Marseille - Nice	23.8	60 844	52 052	38 392	32 590	1.2	1.1	0.7	0.5
Marseille - Aubagne	9.3	15 223	16 054	9 935	10 073	0.1	0.2	0.1	0.1
Marseille - Toulon - Hyères	9.3	43 927	23 371	14 683	4 675	0.8	0.4	0.2	0.1
Toulon - Les Arcs	11.0	2 963	2 644	1 448	838	0.0	0.0	0.0	0.0
Côte d'Azur	13.6	349 807	280 980	254 931	180 956	3.9	3.1	2.8	2.0
Total usagers TER			375 102	319 389	229 131	6.1	4.8	3.8	2.7

Gains de régularité valorisé pour les usagers TER en option projet 2030 AMS

Source : rapport technique socioéconomique

Les gains sont valorisés selon deux méthodes, tirées de la fiche outil « Fiabilité des temps de déplacements des voyageurs - Version du 03 mai 2019 » :

- la méthode des retards moyens. Cette méthode est appliquée sur la base de la distribution des retards moyens par classe de retard : < 2 mn, 2-5 mn, 5-10 mn, 10-15 mn, 15-20 mn et > 20 mn. Ces éléments sont ensuite traduits dans une matrice de régularité gare à gare fournissant la répartition par classe de retard sur chaque « OD gare à gare ». La valorisation de la régularité est ensuite basée sur la méthode du retard moyen pondéré par 2,1.
- la deuxième méthode consiste à partir du temps de parcours et des données de régularité à calculer l'augmentation du temps de trajet espéré que l'utilisateur est prêt à subir pour éviter la variabilité de son temps de trajet.

Le gain varie de +2,7 M€ par an (2030) pour le scénario 2 avec méthode compensatoire à +6,1 M€ pour le scénario 1, avec la méthode des retards moyens. **Dans tous les cas les gains obtenus sont modestes au regard du montant des investissements, et des enjeux et objectifs fixés au projet en matière d'amélioration de la régularité.**

Notons que SNCF Réseau a tout de même réalisé un exercice visant à valoriser les retards plus importants, à partir des tests unitaires. Le tableau ci-après restitue le résultat de cet exercice.

Tableau 7 : Réduction des pertes de temps obtenues pour les tests unitaires

	Nombre de train impactés			perte de temps(s) 1 h après le début de l'incident			perte de temps(s) 2 h après le début de l'incident		
	Tous BAL	InfraERT MS et Tps BAL	Tous ERTMS	Tous BAL	InfraERT MS et Tps BAL	Tous ERTMS	Tous BAL	InfraERT MS et Tps BAL	Tous ERTMS
Scénario 1 : Retard de 12 mn au départ de Nice du 881104	1	1	1	1060	30	30			
Scénario 1 : Retard de 8 mn au départ de Cannes Bocca du 86063	2	1	2	420	210	474			
Scénario 1 : Retard de 10 mn au départ de Grasse du 86059	4	2	2	1380	370	600	1700	20	230
Scénario 1 : Retard de 8 mn au départ de Toulon du 881637		4	2		550	20			
Scénario 1 : Retard de 8 mn au départ de Cannes Voyageurs du 86062	4	3	3	390	710	640	30	160	80
Scénario 1 : Retard de 10 mn au départ de Hyeres du 881630	4	2	3	2400	440	460			
Scénario 1 : Retard de 08 mn au départ de Menton Garavan du 86064	0	0	2	530	260	358	200	0	0
Scénario 1 : Retard de 8 mn au départ à Cannes Voyageurs du 147	0	0	3	14	20	230			
Scénario 1 : Arrêt de 15 min du 17482 aux Luc suite incident PN29 (km 119,439)	2	2	7	3420	1790	1940	280	0	0
Scénario 1 : Retard de 12 mn au départ à Nice du 17472	2	2	1	990	700	830	310	40	120
Scénario 1 : Retard de 9 mn au passage à Blancarde du TGV 6165	0	0	1	330	200	430	30	20	10
Scénario 1 : Retard de 12 mn au départ de Nice du TGV 7856	0	0	2	590	520	500	420	280	145
Scénario 1 : Retard de 9 mn au passage à Blancarde du 17473	1	1	1	330	100	360			

Ce tableau indique que les gains de temps cumulés pour le matériel roulant sont en moyenne de plus de 7mn pour l'option 1, une heure après l'incident, et plus de 6 mn pour l'option 2. Ces gains seraient à appliquer à chacun des voyageurs des trains considérés, et à annualiser. Sachant que le nombre de trains ayant un retard de plus de 10mn est de l'ordre d'une dizaine par jour (BREHAT 2019), les gains à attendre sont très significatifs. **SNCF Réseau estime la valorisation de la régularité pour les voyageurs de l'ordre 25 à 30 M€ par an, soit entre 5 et 10 fois plus que le strict traitement des petits incidents.**

Recommandation n°10 : Malgré les approximations de la méthode, la valorisation de la réduction des retards liés aux incidents importants générant des retards de plus de 5mn permet de confirmer l'intérêt du système ERTMS mieux que le seul traitement des petits retards.

4.5.1.2 Le traitement des gains de temps

Les gains de temps liés à la modification de la grille ne concernent que le scénario 2.

Le modèle réagit mécaniquement à la moindre variation de temps de parcours. Le tableau suivant présente les différentiels de trafic entre les deux options de projet, qui donnent une bonne approximation des impacts de l'optimisation des temps de parcours sur le report modal. Environ 2 trains reportés sur 5 le sont sur des OD pour lesquelles le gain de temps est supérieur à 2 minutes.

Tableau 8 : Poids des retards de moins de 2 mn dans le volume de report modal

Voyageurs annuels 2030 (AMS)	Trafic fer option 1 (régularité seule)	Trafic fer option 2 (temps optimisés)	Gain trafic fer option 2 / option 1	-dont OD avec gains de temps supérieurs à 2 min	-dont OD avec gains de temps inférieurs à 2 min	Part OD gains de temps supérieurs à 2 min
Interne 06	14 047 483	14 534 542	487 060	78 181	408 879	16%
Interne 83	1 449 767	1 507 879	58 112	24 047	34 065	41%
Interne 13	7 454 117	7 540 416	86 299	86	86 213	0%
06-Monaco	8 309 900	8 500 606	190 706	27 756	162 951	15%
13-83	3 443 232	3 587 841	144 609	125 178	19 431	87%
13-[06+Monaco]	859 518	916 768	57 249	57 249	0	100%
83-[06+Monaco]	1 731 020	1 776 665	45 646	40 421	5 224	89%
Autres interne PACA	5 802 993	5 817 776	14 783	14 783	0	100%
Interne PACA	43 098 029	44 182 493	1 084 464	367 810	716 654	34%
Echange + transit PACA	26 937 711	27 282 645	344 934	251 080	93 854	73%
Total	70 035 740	71 465 138	1 429 398	618 890	810 508	43%

Ainsi, 43% des gains de voyageurs procurés par les optimisations des temps de parcours réalisées dans l'option de projet 2 sont liés à des gains de temps très modestes. Ce constat montre les limites de l'usage de ce type de modèles pour évaluer des effets de ce projet de modernisation de la signalisation ; il interroge aussi sur le choix de ne retenir que les résultats des tests stochastiques, et non les perturbations plus importantes susceptibles de générer des retards de plus 5 mn voire des suppressions de train : ce type d'événement s'il se répète, est susceptible de décourager les voyageurs d'utiliser le train, bien plus que des retards non perceptibles de quelques minutes.

4.5.2 Les facteurs non mobilisés

La cartographie des effets pris en compte est conforme au périmètre de l'évaluation d'un projet de transport ferroviaire classique. Elle ne tient cependant pas compte des spécificités de HPMV. On citera en particulier :

4.5.2.1 Les facteurs non mobilisés pour la valorisation des gains des usagers

Les options de projets testés, nous l'avons indiqué, ne prévoient pas de tirer parti des possibilités de sillons et donc de services supplémentaires sur la ligne. Pourtant le besoin existe, la sensibilité des voyageurs aux fréquences de trains, voire au cadencement, étant particulièrement forte pour les déplacements périurbains.

Pour justifier de la non prise en compte de services supplémentaires, le porteur de projet considère que le périmètre de HPMV n'inclut pas les investissements permettant une augmentation de fréquence (renforcement de la capacité électrique, évolution des plans de voie). Il a donc été exclu de l'analyse toute évolution de la grille ferroviaire (relèvement de vitesses, création de sillons supplémentaires) que permettrait la nouvelle signalisation, en se limitant aux

gains liés à la robustesse²¹. Si ce choix est a priori vertueux, puisqu'il s'agit d'éviter les « doubles comptes » dans les calculs économiques, la justification n'est pas évidente, alors qu'il est répété que les deux projets LNPCA et HPMV sont complémentaires et que le second est un prérequis du premier.

On relèvera d'ailleurs que les périmètres géographiques des deux projets ne sont pas totalement cohérents. En effet, pour des raisons pratiques, HPMV commence à la gare de Marseille Blancarde, où sera vraisemblablement situé le futur CCO, et ne prend pas en compte la gare souterraine de Marseille, ni les opérations d'aménagement à l'ouest de Marseille qui sont incluses dans LNPCA. Les contre-experts n'ont pourtant pas trouvé dans le dossier LNPCA soumis à enquête publique une indication que la continuité de HPMV serait assurée sur ces sections, ni de postes de dépenses liés à la signalisation. De même si LNPCA s'arrête à Nice, HPMV s'étend à la section conduisant à la frontière italienne (Nice-Vintimille). Les opérations d'investissement envisagées sur ce tronçon relèvent de financements extérieurs aux deux projets qui ne sont pas pris en compte dans l'étude économique.

La construction d'un scénario montrant les effets d'une augmentation significative de l'offre, en plus ou à la place de gains de temps en ligne, sera certainement mieux à même de montrer l'intérêt de l'ERTMS pour fiabiliser et renforcer les transports du quotidien, c'est le sens du scénario complémentaire abordé au paragraphe suivant.

4.5.2.2 Le caractère expérimental de l'opération.

Il est difficile de déterminer, avec les éléments qui nous ont été fournis, la part de l'investissement qui est imputable au caractère innovant (et donc du domaine de la recherche appliquée) et qui pourra ensuite être déduit des investissements futurs dans le programme de déploiement de l'ERTMS au nouveau national ;

4.5.2.3 L'intérêt du projet en termes d'interopérabilité.

L'harmonisation des systèmes de signalisation à l'échelle européenne est un des objectifs initiaux du programme. Or, les hypothèses de schéma de services se limitant à un statu quo (SA2019), et aucune liaison internationale n'existant à ce stade sur la ligne (en dehors des liaisons fret), les avantages du projet ne peuvent être démontrés sur le thème de l'interopérabilité.

4.6 Le scénario complémentaire souhaité par les contre-experts

4.6.1 Description des hypothèses

Suite aux divers échanges avec le porteur de projet, les contre-experts ont identifié le besoin, pour appuyer leurs travaux, de faire réaliser un scénario complémentaire.

4.6.1.1 Option de référence

L'option de référence retenue pour ce scénario est similaire à celle retenue dans le dossier, à l'exception de la mise en place des coups partis que sont l'ouverture des gares de Nice St Augustin

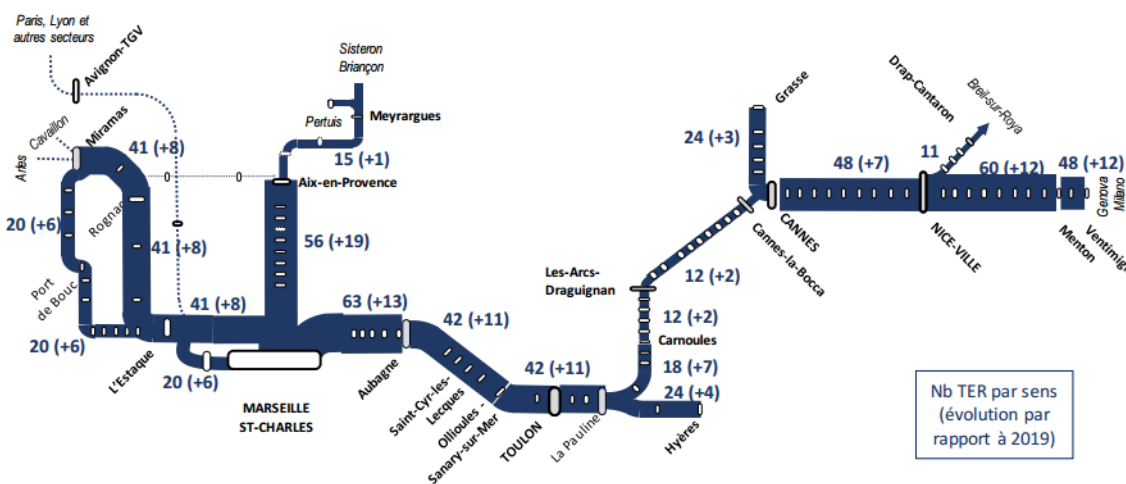
²¹ On verra plus loin que les contre-experts ont demandé une simulation complémentaire portant sur l'optimisation de la grille.

et la halte de Ste Musse. Le porteur de projet pourra soit adapter la grille 2019 pour faire apparaître les nouveaux arrêts dans cette grille, ou considérer une grille « fin 2022 » incluant ces deux réalisations.

4.6.1.2 Option de projet

Scénarios 1 et 2 du dossier se basent sur les niveaux de services actuels (2019) d'offre TER. Les contre-experts ont souhaité que des hypothèses similaires à celles retenues pour la référence de LNPCA soient reprises, considérant que les mesures autres que HPMV sont mineures et sont des « coups partis ». Le diagramme ci-après résume les hypothèses d'offre à retenir.

Figure 17 : Hypothèses d'offre de l'option de référence de LNPCA



Source : DESE LNPCA p54 (également inscrit aux graphiques de la page 71)

Pour reprendre le DESE LNPCA, il s'agit d'« hypothèses médianes raisonnables des projections d'évolution de services. ». Ces hypothèses sous-entendent, outre bien sûr HPMV, la réalisation des coups partis d'impact minime et prévus à court terme tels la création des gares de Nice St Augustin et la halte de Ste Musse déjà citées plus haut. Elles ne nécessitent a priori pas de réalisation d'infrastructures lourdes autre.

4.6.1.3 Temps de parcours

Lors des entretiens menés autour de l'étude de robustesse, le porteur de projet a souligné que les temps de parcours 2019 ont évolué par rapport à 2017, intégrant des marges de sécurité plus importantes au regard de la vétusté grandissante des équipements de signalisation, pouvant représenter plusieurs minutes. Les scénarios de projets du dossier ne prévoient pas un rétablissement de ces temps de parcours nominaux. Le nouveau scénario revient sur ces temps de parcours 2017, en situation de projet.

L'ensemble des autres hypothèses demeure identique.

4.6.2 Les hypothèses appliquées par le porteur de projet dans sa simulation

Par rapport aux suggestions des contre-experts, SNCF Réseau a établi le bilan de l'ERTMS dans la situation de référence de LNPCA sur la base des hypothèses suivantes :

4.6.2.1 Hypothèses d'infrastructure

Conformément à la demande des contre-experts, sont retenues dans l'option de référence les aménagements des haltes de halte de Sainte-Musse : 11 M€ en 2022, et déplacement de la halte de Nice-Saint-Augustin : 4 M€ en 2022.

L'option de projet intègre en sus des coûts de l'ERTMS les aménagements Mandelieu Vintimille, les éléments techniques nécessaires pour appliquer les niveaux de service souhaités : 15 M€ d'aménagements du plan de voie de Cagnes sur Mer répartis entre 2023 et 2027 inclus.

4.6.2.2 Hypothèses de service

Les hypothèses de service à l'horizon 2030 dans l'option de projet (donc avec l'ERTMS), sont celles retenues en référence de LNPCA. Elles intègrent des évolutions de service en lien avec les différents projets considérés comme des coups partis (Marseille-Gardanne-Aix, Ste Musse...), ainsi qu'avec les souhaits exprimés par la Région (ouverture à la concurrence). Il convient de noter que les temps de parcours sont similaires à ceux de l'infrastructure dotée du BAL : en effet, la grille de la situation de référence de LNPCA a été conçue à partir d'une grille de services envisagée à l'horizon de la mise en concurrence du service TER en 2025 sur la base des expressions de besoins initiales de la Région. Il n'y a pas eu pour cette grille de référence de recherche d'optimisation de la capacité ni du temps de parcours.

Concernant l'option de référence pour l'ERTMS (REF HPMV bis), celle-ci consiste donc en une réduction de l'offre de la situation de référence LNPCA sur la zone Nice-Menton : les deux sillons complémentaires par heure de pointe et par sens apportés par l'ERTMS sont supprimés. Cette approche permet de neutraliser dans le bilan les autres évolutions d'offre entre la situation actuelle et la référence de LNPCA qui ne sont pas en relation directe avec les performances de l'ERTMS.

La régularité dans ce scénario de référence est celle de l'option de référence LNPCA ; les simulations sont conduites dans le cadre du scénario de référence AMS.

4.6.2.3 Hypothèses pour un scénario complémentaire proposé par le porteur de projet

Par rapport aux suggestions des contre-experts, SNCF Réseau a souhaité joindre à la contre-expertise un autre scénario de déploiement de l'ERTMS dans la situation de référence de LNPCA.

Cette seconde option de projet (baptisée « MAT + bis ») vise à donner un éclairage plus global des performances possibles de l'ERTMS dans le contexte spécifique de Marseille-Vintimille à l'horizon 2030. Dans cette option de projet, les différents leviers de la performance sont activés :

- capacité : + 20 sillons TER sur la Côte d'Azur, principalement en augmentant les circulations en heures de pointe à hauteur de 9 sillons par heure et par sens entre Cannes et Nice, et 7 entre Nice et Menton ; prolongement des GL de Toulon à Nice ;
- temps de parcours : environ -12 min en moyenne pour les grandes lignes entre Marseille et Nice, des gains également sur les parcours des TER par rapport au scénario avec temps optimisés.

Cette option a fait l'objet d'une simulation d'exploitation similaire à celle des scénarios 1 et 2 du DESE soumis au SGPI (simulation avec le logiciel Denfert). Le bilan est établi par rapport à la même option de référence que le bilan précédent (REF HPMV bis).

4.6.3 Résultats des simulations

Le tableau ci-après détaille les résultats de ces deux simulations.

Tableau 9 : Résultat des bilans socioéconomiques pour les deux scénarios complémentaires

Synthèse BILAN PAR ACTEUR	SC3_ref_LNPCA	SC4_MAT+
Indicateurs socio-économiques		
VAN-SE	-482 M€	1 807 M€
VAN-SE par euro investi	-0,4	1,6
VAN-SE par euro public dépensé	-0,5	0,9
VAN-SE par euro public investi	-0,6	2,4
TRI	-0,3%	12,0%
Bilan de l'activité voyageurs	-153 M€	2 136 M€
Usagers ferroviaires GL	0 M€	1 621 M€
Usagers ferroviaires TER	58 M€	376 M€
Usagers de la route	73 M€	1 045 M€
Riverains	2 M€	22 M€
Transporteur VOYAGES	0 M€	325 M€
Transporteur TER	0 M€	0 M€
Gestionnaire d'infrastructure	35 M€	191 M€
Sociétés d'autoroute	-6 M€	-211 M€
Compagnies aériennes	0 M€	-66 M€
Opérateur CAR	-10 M€	-88 M€
Puissance publique	-305 M€	-1 079 M€
Investissements (hors investissements MR)	-329 M€	-329 M€

Le scénario 3 assure la cohérence avec le projet LNPCA. Il ne permet pas de dégager une VAN positive. Les augmentations de fréquence limitées aux usagers TER entre Nice et Menton ne compensent pas les coûts de déploiement de l'ERTMS.

Dans le scénario 4 MAT+, les usagers GL gagnent en temps et en dessertes au-delà de Toulon, la modification de la politique de desserte permise sans perte de performance globale du service ferroviaire a également un fort impact en termes de report modal dans les Alpes-Maritimes. Il est courant d'observer, pour les évaluations socioéconomiques de projets de développement de l'offre ferroviaire régionale, un bilan négatif voire très négatif, car les coûts d'exploitations très élevés du transporteur ne sont pas compensés par les recettes de billetterie et les avantages pour les usagers. Le scénario 4MAT+ parvient à atteindre cet équilibre : la forte augmentation des services et des coûts engendrées est plus que compensée par les avantages pour les usagers. Ainsi, bien que sa VAN soit à peine supérieure à celle du scénario 2 du DESE, **le scénario 4MAT+ souligne la capacité de l'ERTMS à rendre possible un fort cadencement des trains en milieu urbain, répondant à un fort besoin de mobilité dans les aires métropolitaines.**

Ainsi ce scénario, qui pourrait être encore renforcé selon SNCF Réseau en l'étendant à l'ouest entre Toulon et Marseille, apparaît aux contre-experts plus convaincants que le scénario 2 du DESE pour démontrer les apports de l'ERTMS 3H sur la performance du système ferroviaire sur l'axe Marseille Vintimille. En effet il applique des hypothèses combinant gains de temps et fréquence à un cas concret adapté aux besoins de mobilité sur le littoral. Avec ces hypothèses, la rentabilité socioéconomique de l'opération HPMV est clairement établie.

Recommandation n°11 : Compléter le DESE en intégrant le scénario 4+ demandé par les contre-experts. Bien qu'encore optimisable, il permet mieux de démontrer le potentiel de l'ERTMS sur la ligne Marseille Vintimille que les scénarios 1 et 2 actuellement présentés.

5 Les risques

5.1 La cartographie des risques

Les risques principaux (au nombre de 53) sont identifiés et analysés dans le « Tableau des risques et démarches de management des risques » en annexe du Dossier d'évaluation socio-économique et financière de SNCF Réseau (décembre 2021).

Cette analyse de risques couvre un périmètre très large. Elle relève des risques dans les domaines suivants : financement, sécurité/sûreté, procédures administratives, politique et relations avec les riverains, organisation/FOH/risque social, définition des besoins, études et sujets techniques, marchés, travaux, exploitation/maintenance, ressources internes et externes.

Les contre-experts considèrent que cette analyse couvre bien les principaux risques auxquels ce projet peut être confronté et les démarches proposées pour maîtriser ces risques leur semblent adaptées. Il leur semble toutefois nécessaire d'attirer l'attention sur un **certain nombre de risques techniques**, qui à leur avis sont insuffisamment mis en avant.

5.2 Les risques techniques

5.2.1 Stabilité et maturité de spécifications d'ERTMS

5.2.1.1 Spécification technique d'Interopérabilité d'ERTMS Niveau 2

Le projet sera équipé de l'ERTMS en application du règlement européen 2016/919 de la Commission européenne du 27 mai 2016 relatif à la spécification technique d'interopérabilité concernant les sous-systèmes « contrôle-commande et signalisation » du système ferroviaire dans l'Union européenne.

La version appliquée pour le sol est la baseline 3 release 2 (R2) et GSM-R baseline 1, plus simplement nommée 3.6.0.

5.2.1.2 Spécifications d'Interface avec l'infrastructure existante

Les STI décrivent bien, quand elles ont atteint un degré suffisant de maturité, les interfaces fonctionnelles et techniques entre le sol et les bords et le comportement attendu des bords, mais ne décrivent pas du tout les fonctionnalités du sol, et notamment l'interface entre ETCS et la signalisation (notamment les enclenchements, donc les postes d'aiguillage, en régime nominal et encore moins dans les modes dégradés).

Le référentiel ERTMS Ligne classique²² élaboré par SNCF RESEAU précise les spécifications du sous-système contrôle-commande et signalisation ETCS et définit les principes ETCS N2 et N3H pour les lignes du réseau conventionnel sans signalisation latérale.

5.2.1.3 Degré de maturité du référentiel européen relatif à l'ERTMS N3 Hybride :

Les contre-experts ont sollicité l'avis de l'EPSF sur la stabilité et la maturité des référentiels européens, notamment celui concernant le Niveau 3 Hybride.

²² DO-RSS : Document Référentiel Sous-Système : Ref. PRINCIPES GÉNÉRAUX ETCS NIVEAU 2 V1.2

Niveau 2 : L'EPSF a confirmé aux CE que la STI Baseline 3.6.0 qui sera mise en œuvre sur le projet HPMV est mature et stabilisée. Pour la baseline 4, il y a un consensus pour dire qu'elle n'est pas prête et que c'est trop tôt pour la mettre en œuvre.

Niveau 3 Intégral :

Ce niveau suppose que les trains se localisent par eux-mêmes. Cette localisation repose notamment sur l'utilisation de GNSS qui à ce jour n'a pas une précision suffisante.

Ce niveau conduit par ailleurs à des modes dégradés complexes. A titre d'exemple : en absence de système au sol permettant de connaître la position du train, comment reprend-on l'exploitation en cas de panne de l'équipement à bord du train ?

HPMV a été présenté par la SNCF à l'EPSF comme un laboratoire pour avancer vers le Niveau 3 intégral.

Niveau 3 hybride :

Ce système conserve la signalisation au sol. Il est considéré par l'EPSF comme le meilleur moyen d'améliorer les performances d'exploitation par rapport au Niveau 2, sans prendre les risques du niveau 3 intégral. L'EPSF précise qu'il n'y a pas de référentiel reconnu par l'ERA pour le N3H. Il n'existe qu'une spécification produite par UNISIG et les industriels. Cette spécification est bien avancée, mais pas encore mature.

Observation 5 : Les contre-experts constatent qu'il existe bien un référentiel pour l'ERTMS N3H, mais notent que ce référentiel n'a été approuvé à ce jour ni par l'Union Européenne ni par l'ERA.

5.2.1.4 Le système de contrôle de l'intégrité des trains

Il n'existe actuellement aucun moyen validé par l'ERA pour garantir le contrôle de l'intégrité des rames automotrices (dans la perspective d'ERTMS N3).

La démonstration de l'intégrité pour une rame automotrice en US ou UM ne semble pas insurmontable. Par contre pour une rame à composition variable (FRET ou voyageurs), cela est beaucoup plus problématique.

Il est prévu que la nouvelle STI CCS 2022 (à venir en fin d'année) emporte la définition des mécanismes d'intégrité des trains indispensables à la confirmation d'état d'occupation des zones virtuelles pour le niveau 3 Hybride.

Prise en compte du Rex des exemples européens d'ERTMS N3 ou N3H qui fonctionnent déjà ou sont en cours de déploiement (délai, coût, résultats).

En réponse aux questions posées par les CE, l'équipe projet SNCF RESEAU a précisé avoir mené un benchmark et poursuivre une veille régulière sur les autres projets et programmes européens. Elle a également tiré profit des retours d'expérience interne à SNCF Réseau notamment sur le corridor Longuyon – Bâle avec les interfaces complexes avec le Luxembourg.

Enfin cette équipe se coordonne avec le gestionnaire d'infrastructure italien RFI pour cadrer le fonctionnement en interface des systèmes italiens et français, via un groupe de travail qui se réunit tous les deux mois.

Ces nombreux entretiens lui ont permis d'asseoir la stratégie de migration vers l'ERTMS, de clarifier des interfaces de fonctionnement, d'affiner l'architecture des systèmes et redondances, de cadrer les différentes phases d'essais, de conforter des hypothèses d'études, d'étalonner le planning directeur.

Observation 6 : Les contre-experts constatent que les stratégies de déploiement d'ERTMS de la France (SNCF RESEAU) et de l'Italie (RFI)²³ sont très différentes. Même si l'équipe projet a des contacts réguliers avec RFI et avec l'ERA, il existe un le risque que les spécifications existantes d'ERTMS N3 hybride soient interprétées différemment et que l'interopérabilité ne soit pas immédiate. Il existe également un risque qu'aucun système de contrôle d'intégrité des trains ne soit disponible dans le délai requis pour le projet HP MV. Or, ce système est indispensable pour que le Niveau 3 Hybride permette d'atteindre les performances attendues.

Une description plus précise des spécifications techniques applicables au système ERTMS qui sera mis en œuvre pour le projet HPMV est donnée à l'annexe 5.

Recommandation n°12 : Assurer en coordination avec RFI un suivi l'élaboration des spécifications d'ERTMS N3H au niveau européen. Suivre attentivement l'élaboration des spécifications du système de contrôle d'intégrité des trains au niveau européen. Tenir compte du risque de ne pas disposer d'ERTMS N3H à l'horizon de mise en service de LN PCA.

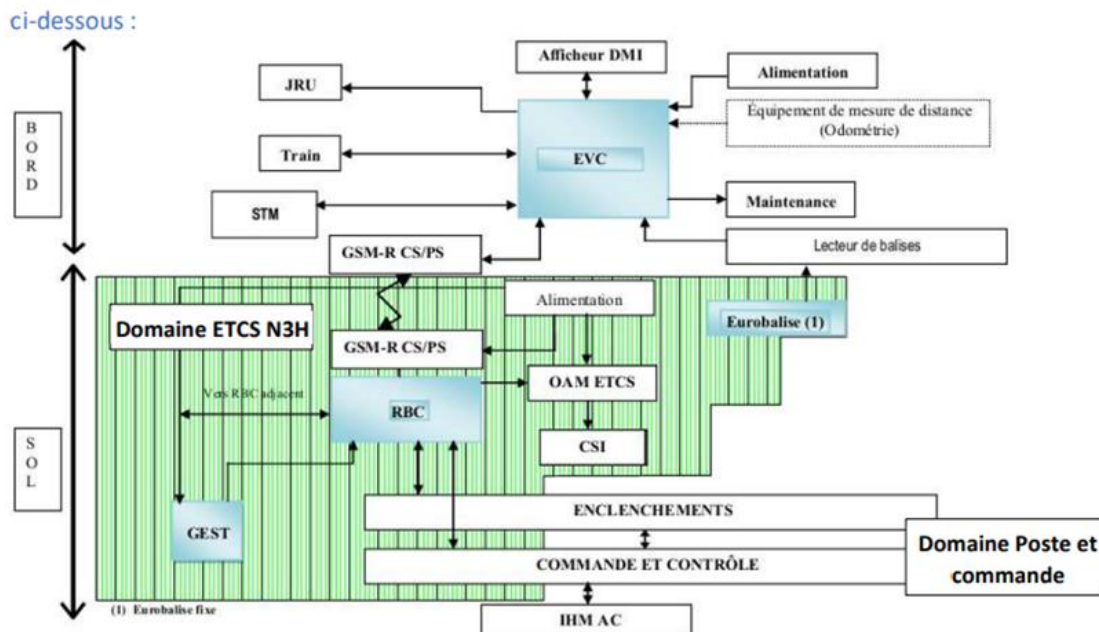
5.2.2 Spécifications de l'ensemble du système de contrôle commande pour le projet HPMV

Le système de contrôle-commande qui sera mis en œuvre pour le projet HPMV résultera pour la première fois de l'assemblage de constituants de signalisation et d'équipements associés interfacés avec le train et les opérateurs dont certains existent déjà, mais dont d'autres seront totalement nouveaux.

Ces constituants et ces équipements sont représentés de manière schématique ci-après.

²³ Sur le déploiement de l'ERTMS en Italie, voir RFI - Cost benefit analysis of ERTMS implementation Plan on the national Railway, cité en annexe 2.

Figure 18 : Architecture schématique du système de contrôle-commande mis en œuvre sur le projet HPMV.



- Le poste d'enclenchement (type ARGOS pour HPMV), dont les principes d'enclenchement sont déjà définis ;
- L'Équipement de signalisation gérant la commande et le contrôle des installations de signalisation MISTRAL NG, dont les principes de fonctionnement sont calqués sur le MISTRAL déjà en service;
- L'Eurobalise assurant la transmission de messages du sol vers le train. Les messages émis étant indépendants de l'état de la signalisation, ils sont émis par des Eurobalises fixes ; les Eurobalises sont déjà utilisées sur les RFN (ligne ETCS2) ;
- Le RBC assurant l'émission des informations de contrôle-commande vers le train ETCS et la réception des informations en provenance du train via le média de communication que représente la radio GSM-R.
- Le RBC qui sera mis en œuvre sur HPMV sera réalisé par l'un des industriels déjà désignés pour la réalisation des postes ARGOS. La continuité technologique est ainsi assurée.
- Les interfaces entre les briques technologiques sont, sur la base des principes des référentiels sus-mentionnés, définis dans les cahiers des charges de consultation des entreprises et sont / seront retranscrites précisément via des dossiers de spécifications fonctionnelles produites par les industriels en phase de développement sous vérifications de SNCF Réseau.

Les contre-experts constatent que :

- le système d'exploitation qui sera mis en œuvre sur HPMV fait appel à des équipements déjà existants ou dérivés d'équipements existants avec un degré d'innovation variable, mais mesuré (poste ARGOS, MISTRAL NG, plateforme ARGOS pour le RBC, Eurobalises)
- il existe bien une spécification d'interface avec l'infrastructure existante du réseau classique élaborée par SNCF RESEAU mais cette spécification spécifique au RFN sera mise en œuvre pour la première fois sur HPMV .

- le RBC qui sera mis en œuvre sur HPMV ne sera pas dérivé du RBC mis en œuvre sur LGV+, mais sera un produit nouveau.

Même si le système global fait appel à certains équipements déjà existants et déployés par ailleurs sur le réseau, le risque de retard et donc de surcoût lié au développement et au déploiement de ces nouveaux équipements appelle une vigilance tout le long du projet, notamment au démarrage du projet.

Recommandation n°13 : Le projet LGV+ visant également la mise en œuvre de l'ERTMS N3H coordonner les études de HPMV avec celles de ce projet.

5.2.3 Risques au niveau, des performances du projet HPMV

5.2.3.1 Performances d'exploitation

En réponse à une question posée par les contre-experts, l'équipe projet a indiqué que le principal indicateur de succès en termes de performance d'exploitation du projet HPMV sera l'intervalle de temps minimum entre le passage de deux trains (block sec). Cette donnée est indépendante d'une grille horaire en particulier.

Le tableau suivant présente cet ensemble d'objectifs pour la pleine ligne et en gare, avec une comparaison par rapport à la situation actuelle.

Tableau 10 : Estimation de l'intervalle de temps minimal entre le passage de deux trains successif à un point donné

Bloc horaire / zones élémentaires	Temps actuels BAL	Temps ERTMS
Pleine ligne sans arrêts iso vitesse entre les trains	4 à 8 min	< 180 s (3 min) en niv 2 brut < 120 s (2 min) en niv 3 hybride
Nœuds et réutilisation quais	5 à 13 min	< 180 s (3 min) en niv 2 brut < 150 s (2,5 min) en niv 3 hybride

Sur la base de ces objectifs, la direction de l'exploitation de SNCF Réseau a participé à l'élaboration du programme d'exploitation (fonctionnement avec l'ETCS, fonctionnement de l'axe et des gares, expressions de besoin, radar de la performance, réseau Haute Performance, études d'exploitation...). Ainsi, les programmes de signalisation définissant les installations de signalisation au sol retranscrivent le programme d'exploitation. Les programmes de signalisation seront produits cette année (des premiers secteurs géographiques sont actuellement en vérification). Les gains effectifs apportés par le projet en termes de niveau et de qualité de service dépendront de la grille effectivement mise en œuvre.

Observation 7 : La performance en ETCS Niveau 3 Hybride ne peut être atteinte que si tous les trains, ou une très large majorité de trains, sont équipés d'un système de contrôle d'intégrité.

5.2.3.2 Performance en termes de FDMS (Fiabilité Maintenabilité Disponibilité Sécurité)

L'étude FDMS n'est pas terminée.

Le traitement des modes dégradés, notamment ceux liés à l'utilisation de compteurs d'essieux, en particulier le traitement du rail cassé en ERTMS N3H ne semble pas avoir été finalisé.

Les difficultés techniques propres à la gestion des nœuds en ERTMS N3H restent également à analyser.

5.3 Risques liés au processus de migration

En réponse à une question des contre-experts, l'équipe projet a précisé la stratégie de migration envisagée pour passer du système actuel au système futur.

Du point de vue de l'infrastructure, la solution proposée permet d'être très largement indépendant des installations existantes. Il est donc possible d'installer sur site l'ensemble des équipements du futur système et de l'essayer en parallèle sur le système existant. Cela permet de basculer vers le nouveau système dans un délai court ce qui réduit le risque de la migration, mais nécessite une très grande préparation avec tous les acteurs concernés.

5.4 Risques au niveau des ressources nécessaires (internes et externes)

Ce risque est mentionné dans le tableau des risques du Dossier de la SNCF. Il est majeur. Le projet HPMV va se trouver en concurrence avec d'autres projets importants pour la SNCF. Les ressources tant internes à SNCF RESEAU que chez les industriels seront très fortement sollicitées et devront être bien identifiées.

5.5 Risques au niveau du processus de validation/homologation/certification du système

Le processus de validation/homologation/certification d'un nouveau système ou équipement de signalisation vise à obtenir l'Autorisation de Mise en Service (AMS). Ce processus fait intervenir deux acteurs majeurs : l'EPSF (Établissement Public de Sécurité ferroviaire) et l'ERA (European Union Agency for Railways).

Une description synthétique des rôles respectifs de l'EPSF et de l'ERA pour les projets de signalisation est donnée à l'annexe 8. Le détail des interventions de l'EPSF et de l'ERA pour le projet HP MV est donné à l'annexe 10.

L'équipe projet a des contacts réguliers avec l'ERA et avec l'EPSF. Les contre-experts ont interrogé l'EPSF sur les principales difficultés que pouvait rencontrer le déploiement d'ERTMS Niveau 3 Hybride sur le réseau français de leur point de vue.

5.5.1 Risques liés au caractère innovant du projet HP MV

Le Niveau 3H est un concept en nette rupture par rapport aux solutions existantes sur le RFN :

- Passage de cantons fixes physiques sur le terrain à des cantons virtuels créés informatiquement pour le sous-cantonnement
- Nécessité de contrôler en sécurité l'intégrité des trains

Apparition de nouveaux modes dégradés : par exemple, la détection du rail cassé en cas d'utilisation de compteurs d'essieux. L'EPSF n'a pas de visibilité sur l'étude GAME faite par la SNCF à ce sujet.

5.5.2 Risques au niveau de la gestion de projet

Par ailleurs, l'EPSF identifie des risques au niveau de la gestion proprement dite du projet : même si l'EPSF a des contacts fréquents avec l'équipe projet de la SNCF, la SNCF doit recueillir l'avis d'un grand nombre d'organismes différents (AsBO, DeBO, NOBO) en plus du dossier de sécurité présenté par l'industriel qui lui-même fait appel à des organismes extérieurs indépendants (ISA, organisme de certification). Tous ces documents et avis constituent des documents d'entrée pour l'EPSF.

L'EPSF ne veut pas se retrouver soumis à de fortes pressions politiques en cas de retard, ce qu'il constate régulièrement sur les projets d'envergure.

5.5.3 Risques liés au phasage des mises en service :

Le projet HPMV comportant 3 phases/3 lots répartis dans le temps, la question d'un phasage éventuel des autorisations de mise en service se pose.

L'EPSF précise que le dossier de sécurité peut être présenté soit globalement, soit tronçon par tronçon. Du point de vue de l'exploitation, l'EPSF préconise de procéder étape par étape.

Recommandation n°14 : Préciser avec l'EPSF les procédures d'autorisation (documents, avis,...) et mettre en place un suivi très rigoureux de ces procédures.

5.5.4 Risques identifiés dans le REX d'autres projets

5.5.4.1 Rex de projets étrangers

L'EPSF pense que le REX des expérimentations d'ERTMS N3 ou équivalent en Suède et en Italie pourrait être profitable au projet HPMV.

L'EPSF attire notamment l'attention sur le REX du projet suédois qui a été abandonné suite au nombre excessif de freinages d'urgence, dont la cause originelle était un trop grand nombre de contraintes sol exportées sur le Matériel Roulant.

5.5.4.2 REX du projet HPGVSE

L'EPSF reconnaît que l'articulation entre les projets HPGVSE et HPMV n'est pas très claire pour lui.

Pour l'EPSF, le REX du projet HP GVSE sera à prendre avec précaution pour ce qui concerne le projet HPMV :

- Caractéristiques de ligne notoirement différentes
- Contextes très différents : matériels homogènes versus matériels roulants hétérogènes, trafic mixte/trafic homogène, nœuds ferroviaires complexes/gares au plan de voie très simple, système différent de détection des trains circuits de voie compteurs d'essieux, ...

Le Rex ne pourra porter que sur les performances de disponibilité du système ERTMS proprement dit et les fonctions identiques, pas sur les performances d'exploitation.

Sur la base du REX de l'expérimentation en Suède et de la phase 2 de la LGV EST, l'EPSF sera attentif aux contraintes exportées du sol vers le Matériel Roulant, pour éviter notamment le risque d'avoir un trop grand nombre de Freinages d'Urgence (FU).

Le DPS pour le projet LGV+ devrait être présenté à l'EPSF fin 2022. Une version préliminaire est prévue fin mars 2022 pour être livrée à CERTIFER. Le projet HPMV devrait pouvoir profiter en partie de l'expérience du projet LGV+, sous réserve que les deux équipes projets échangent leurs expériences.

Recommandation n°15 : L'équipe projet HPMV pourrait avantageusement se rapprocher de l'équipe projet LGV+ pour bénéficier de son expérience.

5.6 Risque éventuel pour le projet LN PCA

Le projet HPMV est un prérequis pour le projet LNPCA. Le laps de temps entre les deux projets est court (quelques mois). Tout retard du projet HPMV, que ce soit au niveau des nouveaux développements dont les délais sont toujours très difficiles à respecter qu'au niveau des déploiements qui se heurtent souvent à des retards en termes de définition des besoins ou des ressources en études et en essais, aura des répercussions directes sur le projet LNPCA en matière de coûts et délais.

5.7 Coût du projet

Comme pour tout projet novateur, la mise en œuvre de HPMV peut rencontrer des aléas. Les éléments fournis dans le dossier ne permettent pas une évaluation du risque de dérapage financier.

Un risque complémentaire est celui d'une absence ou d'un retard de bouclage du plan de financement. En ce qui concerne la 1^{ère} phase, ce plan de financement apparaît bouclé sous réserve de la subvention de 60 M€ demandée à l'Europe.

Pour les phases 2 et 3, le plan de financement n'est pas à ce jour arrêté, et devra sans doute faire appel à du financement public compte tenu du poids de la dette de SNCF Réseau.

6 Éléments de conclusion et recommandations

Le projet HPMV (Haute Performance Marseille Vintimille) est un projet de rénovation et de modernisation de la signalisation sur l'axe desservant les trois métropoles Nice-Cannes, Toulon et Marseille. Il accompagne la réalisation de la Ligne Nouvelle Provence Côte d'Azur (LNPCA) dont il constitue un prérequis. Il s'agit du premier projet de déploiement en France d'ERTMS au niveau 3 hybride sur le réseau « classique » (hors lignes à grande vitesse), et c'est à ce titre un projet pilote servant de démonstrateur pour une généralisation sur le réseau.

Les contre-experts estiment que le dossier d'évaluation socio-économique (DESE) a été réalisé de manière sérieuse, qu'il est bien documenté et applique dans l'ensemble la méthodologie de référence prescrite par l'Instruction Royal, complétée par le référentiel interne à SNCF Réseau. Ils donnent acte au porteur de projet des réponses apportées à leurs demandes de compléments et de la qualité des explications fournies en réponse à leurs questions.

La ligne Marseille-Vintimille est une ligne particulièrement fréquentée dont les équipements et la signalisation datent de plus de 60 ans, et doivent être renouvelés. Le déploiement sur cette ligne de la signalisation ERTMS s'inscrit dans les orientations européennes d'unification de la signalisation ferroviaire et d'interopérabilité. Il accompagne la réalisation du projet LNPCA, dans lequel la rénovation de la signalisation, considérée comme opération d'entretien et de régénération, n'est pas prévue.

En ce qui concerne l'enveloppe financière, le coût affiché pour le projet ERTMS niveau 3 hybride est de 529M€ en valeur janvier 2016, alors que la rénovation « à l'identique » du système existant à base de BAL²⁴ est évaluée à 440 M€²⁵. Il apparaît toutefois à l'examen que les évaluations présentées sont globales, et ne permettent pas d'analyser finement les opérations incluses dans le programme. De même s'agissant d'un projet présenté comme pilote, il est surprenant que la part du coût attribuable à ce statut ne puisse être évaluée par le porteur de projet et soit considérée comme non significative.

Si la démonstration de la performance qu'apporte l'ERTMS est convaincante, sa présentation dans le DESE ne peut que susciter diverses interrogations. L'équipe de contre-expertise considère que la présentation de ce dossier pourrait être améliorée afin d'en faciliter la compréhension, et formule en ce sens plusieurs observations.

- Deux options de projet sont présentées dans l'analyse économique : l'une basée sur l'amélioration de la régularité sans gains de temps, l'autre où des gains de temps de parcours sont appliqués là où c'est possible et sans lien avec une analyse de la demande de transport.
- Ce jeu d'hypothèses conduit à une VAN du projet qui est négative dans le premier scénario (-158 M€), alors qu'elle est positive dans le second (+1754 M€). Le choix de ne prendre que l'amélioration de la régularité pour mesurer la pertinence économique du projet semble très réducteur. À ce stade, il semble cependant que ce soit le choix du jeu

²⁴ Bloc Automatique lumineux

²⁵ Dans la note Précision sur les hypothèses de coût, § 3. HYPOTHESES DE COUTS POUR L'OPTION DE REFERENCE.

d'hypothèse retenu par SNCF Réseau qui amène à ce constat et non le dispositif de signalisation lui-même.

- Aucun de ces deux scénarios ne traite l'augmentation capacitaire, qui constitue une des possibilités ouvertes par le système ERTMS. La justification se trouve, d'après le porteur de projet dans le fait que les gains de capacité ont déjà été pris en compte dans l'évaluation de LNPCA, et le souci louable d'éviter les doubles comptes. Mais cette précaution rend l'exercice très théorique et conduit également à sous-estimer l'intérêt économique du projet.
- De plus, l'étude de robustesse ne prend pas en compte les retards supérieurs à 5 minutes, ce qui exclut un nombre important d'incidents ressentis par les voyageurs.

C'est pourquoi les contre-experts ont demandé de faire réaliser deux scénarios complémentaires mobilisant mieux les possibilités offertes par l'ERTMS sur la ligne Marseille Vintimille, notamment en proposer un fort développement de l'offre sur la Côte d'Azur. Dans ce dernier cas, la VAN atteint 1807 M€. La différence (+86M€) avec le scénario 2 est faible, mais l'intérêt du dispositif ERTMS pour mettre en place des dessertes ferroviaires fiables et fréquentes en milieu urbain complexe est pleinement démontré.

La contre-expertise a fait apparaître l'importance des risques qui sont d'ailleurs bien décrits dans la matrice de risques jointe au projet.

Il s'agit tout d'abord de risques techniques :

- le niveau 3 hybride n'existe pas à ce jour, et le référentiel de l'ERTMS niveau 3 hybride n'a pas encore été approuvé par l'ERA. C'est aussi le cas du système de contrôle d'intégrité des trains dont l'adoption est nécessaire pour atteindre les performances attendues du système.
- L'EPSF comme l'ERA ont attiré l'attention des contre-experts sur la difficulté de préciser le délai nécessaire à la délivrance de l'Autorisation de Mise en Service (AMS) du système compte tenu du caractère expérimental du niveau 3 hybride.
- Les délais de mise au point du projet HPMV peuvent avoir un impact sur la mise en service de la LNPCA dont on rappelle qu'il est un prérequis. Un rapprochement devrait être fait avec le projet HPGVSE (ou LGV+) qui, d'après les informations fournies par SNCF Réseau, portera sur l'équipement de la LGV Paris-Lyon en ERTMS niveau 3 hybride, et non pas niveau 2 comme l'indiquait le dossier soumis en 2017 au SGPI pour contre-expertise.

Mentionnons également le risque financier.

- Il peut provenir de l'évaluation du coût du projet qui reste à un niveau très agrégé dans le dossier soumis à contre-expertise, et qui ne peut être en l'état comparé à celui d'autres opérations.
- Il peut également être lié à des difficultés de financement du projet HPMV. Contrairement à la LNPCA dont la convention de financement a été signée, le plan de financement n'est arrêté que pour la 1^{ère} tranche, avec l'intervention du PIA 4. Si les chantiers de modernisation, comme le déploiement de l'ERTMS, sont cités dans le projet de contrat de performance 2022-2030, il ne s'accompagne pas d'une trajectoire financière ou d'une

programmation pluriannuelle garantissant le financement des tranches suivantes dont la réalisation est cependant attendue à l'horizon 2030 qui est celui du contrat de performance.

Dans tous les cas, un suivi régulier du projet serait nécessaire pour garantir qu'il puisse servir de pilote pour un déploiement ultérieur sur d'autres lignes du réseau.

7 Annexes

7.1 Annexe 1 : Liste des auditions réalisées dans le cadre de la contre-expertise

Tableau 11 : Liste des auditions réalisées dans le cadre de la contre-expertise

Date	Thème	Participants
06/01/2022	Réunion de lancement de la contre-expertise	SNCF Réseau – équipe de projet : Michel Noléo, Jacques Paulet, Anne Bouland
26/01/2022	Présentation par le porteur de projet : Construction du dossier	SNCF Réseau – équipe de projet
3/02/2022	Présentation par le porteur de projet : Étude robustesse	SNCF Réseau – équipe de projet
7/02/2022	Présentation par le porteur de projet : Dossier d'étude socio-économique	SNCF Réseau – équipe de projet
10/02/2022	Présentation par le porteur de projet : Questions techniques	SNCF Réseau – équipe de projet
16/02/2022	Rapport du groupe de travail sur l'ERTMS	Pierre Izard, président du groupe de travail
18/02/2022	European Rail Agency	Josef Doppelbauer, directeur Maria Angeles Bueno Cobos
22/02/2022	Agence de la Qualité de Service dans les Transports (AQST).	Alain SAUVANT, directeur
22/02/2022	Rete Ferroviaria Italiana (RFI) sur l'arrivée à Vintimille et le lien avec HPMV	Nazzareno Filippi, Fabio Senesi, Direttore presso FS spa Holding - RFI spa Technical Department
02/03/2022	Direction générale des transports et des mobilités position de l'État sur le rôle de l'État concédant	Murielle Saccoccio, adjointe au sous-directeur des transports ferroviaires et Remi Mensire, chef de bureau
16/3/2022	Établissement Public de sécurité ferroviaire (EPSF)	Laurent CEBULSKI, directeur

La Région Provence Alpes Côte d'Azur sollicitée en tant qu'autorité organisatrice et Transdev, attributaire du lot TER Marseille-Nice n'ont pas répondu à la demande de rendez-vous formulée par les contre experts.

7.2 Annexe 2 : Liste des documents mis à disposition des contre-experts

SNCF Réseau

- Dossier évaluation socio-économique projet HPMV du 7/01/2022
- Mise en place de signalisation ERTMS 2 entre Marseille et Vintimille – DESE Annexe rapport technique
- Mise en place de signalisation ERTMS 2 entre Marseille et Vintimille – DESE Annexe robustesse
- Premières réponses DP HPMV aux questions SGPI
- DP HPMV - Précisions sur les hypothèses de coûts (6/04/2022)
- Rapport du groupe de travail piloté par Pierre Izard
- Référentiel pour le calcul socio-économique SNCF Réseau - v9
- Tableurs :
 - valorisation régularité GL
 - valorisation régularité TER
 - AVP FR01T21C20 BSE Ma-Vi
 - AVP FR01T21C20 BSE Ma-Vi stress test.
- Décision ministérielle (Transports) du 28 juillet 2021 demandant d'étudier la mise en place de l'ERTMS niveau 3 hybride sur la LNPCA.
- HPMV – Hypothèses de coût de renouvellement des installations.
- HPMV : Analyse de la régularité (base Bréhat) – étude d'exploitation mars 2020.

Commission européenne

- Communication de la Commission au Parlement européen et au Conseil COM(2021) 810 final – Plan d'action pour promouvoir le transport ferroviaire de voyageurs longue distance et transfrontière.

Contrat de performance entre l'État et SNCF Réseau

- Contrat de performance entre l'État et SNCF Réseau 2021-2030 (version consultation sur site SNCF Réseau)
- Autorité de régulation des transports – avis sur le Contrat de performance entre l'État et SNCF Réseau n°2022-009 (site ART)

Contrat de plan État Région PACA

- Contrat de plan État Région PACA 2015-2020
- Contrat d'avenir État- Région PACA 2021-2027

Agence pour la qualité de service dans les transports

- Rapport d'activité AQST 2020

Déploiement de l'ERTMS en Italie

- La migration vers la nouvelle génération de signalisation ferroviaire européenne (ERTMS), une opportunité pour l'amélioration des liaisons transfrontalières, note DG Trésor, sept 2019, (<https://www.tresor.economie.gouv.fr/Articles/47741f09-5bea-4777-8ef9-f719c7878bee/files/90439b6a-ab6e-4456-88d7-d38c028cf32b>)
- RFI - Cost-benefit analysis ERTMS implementation plan on the national railway infrastructure (January 2021), analyse coût bénéfice du déploiement de l'ERTMS sur le réseau italien

7.3 Annexe 3 : Cartes HPMV et LNPCA

Figure 19 : Localisation des opérations du projet LNPCA

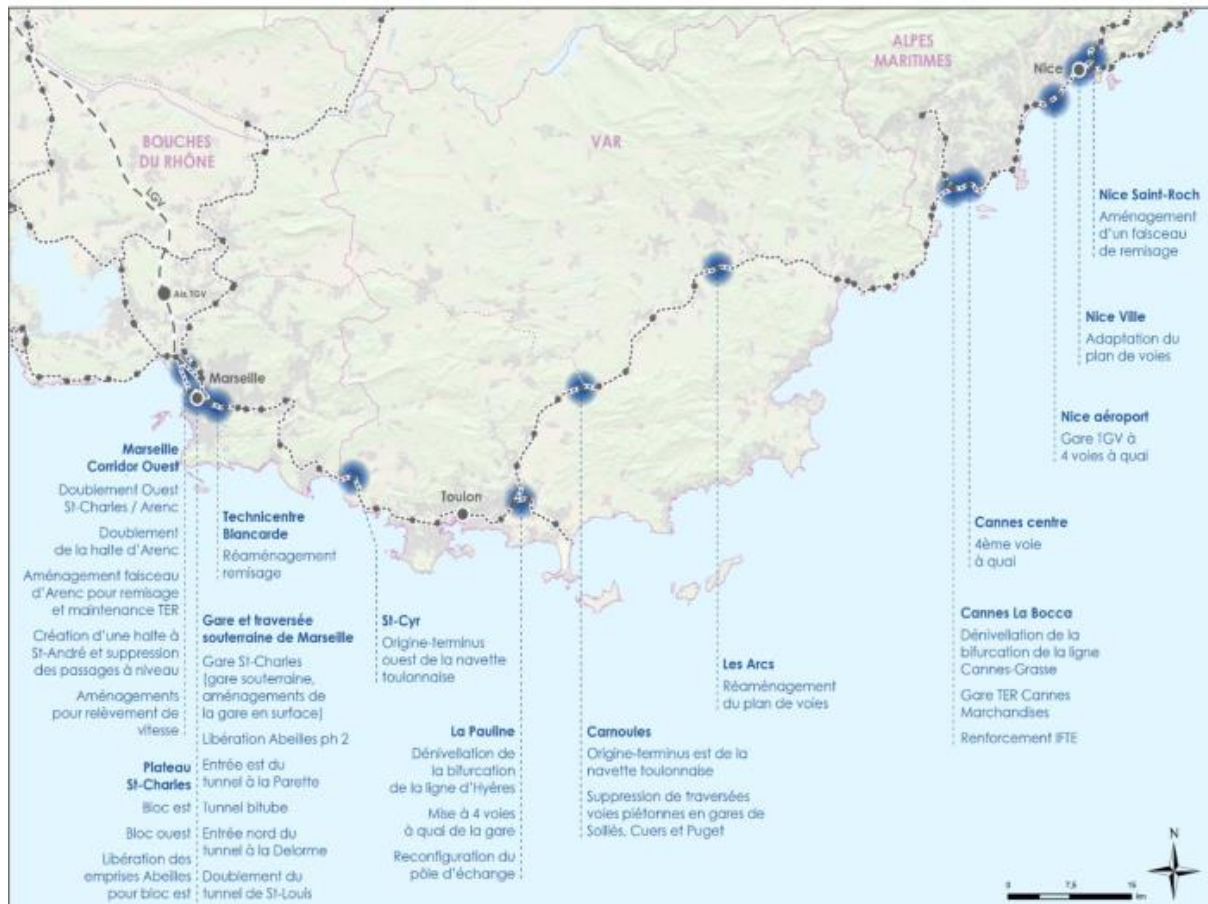
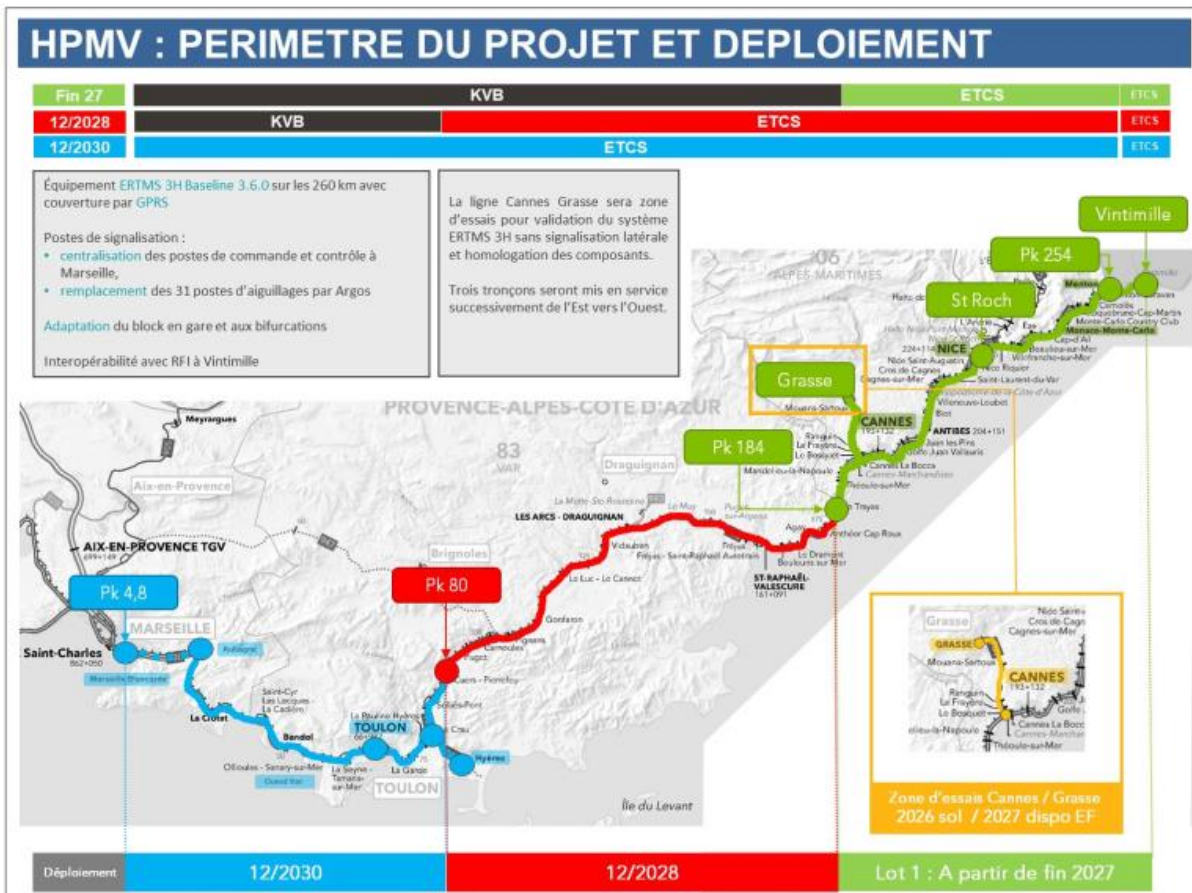


Figure 20 : Projet HPMV



7.4 Annexe 4 : Description technique d'ERTMS

7.4.1 Structure du système ERTMS

Le système ERTMS englobe trois sous-ensembles :

- L'**ETCS** (European Train Control System) est le cœur du système ERTMS. Il s'agit d'un système automatique de protection des trains (ATP Automatic Train Protection). Son rôle est d'assurer en sécurité la circulation des trains, notamment leur espacement, le respect des limitations de vitesse permanentes ou temporaires et la protection des points de convergence. Le sous-ensemble ETCS est conçu à partir des deux sous-systèmes suivants : le sous-système ETCS SOL et le sous-système ETCS BORD. Par abus de langage, le terme ERTMS est fréquemment utilisé en lieu et place d'ETCS.
- Le **GSM-R** (Global System Mobile for Railways) est le support des communications. Il est utilisé à la fois pour les communications vocales et pour la transmission continue de données sol-bord par le système ERTMS. C'est un standard européen : il utilise une seule bande de fréquences au travers de toute l'Europe (une bande pour l'émission de données, une autre pour la réception). L'attente majeure envers le GSM est sa robustesse.
- Le GSM-R sera bientôt obsolète. Le FRMCS (Future Railway Mobile Communication System) au standard 5G, est appelé à s'y substituer dans quelques années. Cette solution n'est pas encore opérationnelle.
- L'**ETML** (European Train Management Layer) est le module de gestion du trafic.
Les développements actuels de l'ERTMS ne concernent que les deux premiers sous-systèmes (ETCS et GSM-R). La conception de ce standard de système de sécurité est faite au niveau européen. Des spécifications (STI, FRS, SRS) sont écrites afin de définir ce système.

ERTMS comporte trois niveaux de performance et de complexité croissantes. Ils sont décrits ci-après.

7.4.2 Les différents niveaux d'ERTMS

ERTMS comporte trois niveaux :

- ERTMS niveau 1

Il s'agit d'un système de transmission ponctuelle d'information. Il repose sur l'utilisation de balises installées en amont des signaux d'arrêt pour éviter tout franchissement de signal fermé et pour dépassement des limitations de vitesse. L'ERTMS1 n'est qu'une répétition en cabine de la signalisation latérale qui apporte une protection supplémentaire en complément de la vigilance du conducteur. Les balises prennent partiellement en charge le contrôle de vitesse et le freinage d'urgence. Le GSM R n'intervient pas pour la transmission des données entre le bord et le sol.

- ERTMS Niveau 2

ERTMS Niveau 2 est un système de transmission continue d'information basée sur le GSM-R. les balises ne sont plus utilisées que pour le recalage de l'odométrie.

Il est aujourd'hui le fondement du déploiement de l'ERTMS attendu par l'Europe sur les grands itinéraires du continent (« core network corridors »). Ses caractéristiques générales sont définies depuis 2004 et fixées en détail par les STI et les standards obligatoires correspondants.

Le Niveau 2 apparaît ainsi aujourd'hui comme le socle de la signalisation numérisée du futur, susceptible d'être adapté ultérieurement. Il est d'ailleurs commercialisé comme tel, autant dans le reste du monde qu'en Europe. C'est donc un produit reconnu à l'échelle internationale. On peut le voir comme un standard qui sera adaptable dans les années qui viennent, étant entendu que cette évolutivité a été assortie de l'obligation de respecter une compatibilité ascendante entre les générations d'ERTMS, afin que de nouveaux équipements puissent être exploités au contact de versions plus anciennes. Ceci doit permettre d'éviter de remettre sans cesse à niveau les équipements existants pour les adapter aux spécifications les plus récentes.

- ERTMS Niveau 3 hybride

Sa dénomination est un peu trompeuse : il s'agit plutôt d'une amélioration significative de l'ERTMS Niveau 2 que d'une hybridation du Niveau 3.

Ce concept est relativement nouveau et n'entre pas stricto sensu dans la classification européenne. Il a été imaginé par des gestionnaires d'infrastructures désirant améliorer la performance de l'ERTMS Niveau 2 sans pour autant basculer en canton mobile (voir partie suivante). L'idée sous-jacente est simple : il s'agit de découper virtuellement les cantons physiques en introduisant des points de passage virtuels. Ceci permet d'avoir une localisation plus précise de chaque train et de les rapprocher les uns des autres, sans modifier les équipements au sol. Ce scénario peut même être progressif, car il n'impose pas de procéder à un changement généralisé et préalable de tous les équipements des bords. Toutefois, pour être pleinement efficace, il requiert que chaque train apporte la preuve, en sécurité, de son intégrité (absence de rupture d'attelage). À défaut, c'est la logique d'espacement du Niveau 2 qui s'applique, entre deux trains.

Cette solution a fait l'objet d'expérimentations in situ en Grande Bretagne, pour le compte de Network Rail et ProRail, avec la contribution active d'autres GI d'Europe, parmi lesquels SNCF Réseau. Un bon nombre de GI s'y intéressent vivement, dans le cadre de l'EUG, car il s'agit d'un prolongement du Niveau 2, d'un coût pratiquement identique pour les équipements au sol. C'est d'ailleurs cette version, pour le sol, qui a été commandée pour renouveler la signalisation sur la LGV Paris-Lyon.

L'exploitation en Niveau 3 hybride dépendra essentiellement de la mise au point et du déploiement d'un dispositif industrialisé d'intégrité des trains.

- Les travaux en ce sens progressent (y compris au sein de Shift2Rail), des concepts sont accessibles et pourraient aboutir au lancement de produits moyennant un délai utile à cette fin (de l'ordre de 2 années), pour les rames à composition fixes (ex : automotrices). Un cycle de rétrofit devra alors être programmé pour les en doter.
- En revanche, le cas des rames à composition variable n'est pas aujourd'hui sous contrôle et restera un point faible dans l'application du Niveau 3 hybride.

- ERTMS Niveau 3 nominal

ERTMS Niveau 3 repose sur deux principes majeurs en rupture avec ERTMS N2 : des cantons mobiles et des trains qui se localisent par eux-mêmes.

Son principe de base est d'introduire des cantons mobiles.

Au lieu de suivre le cheminement du train par des équipements au sol, via des circuits de voie électriques ou des compteurs d'essieux sur des portions de ligne délimitées physiquement (donc des cantons fixes), c'est la position et la vitesse du train, diffusées à intervalles réguliers aux RBC (Radio Block Center) positionnés au sol qui permettent de définir une bulle de sécurité dans laquelle un train devra toujours se trouver seul.

Les technologies de positionnement du train ne sont pas prescrites et peuvent a priori résulter de solutions assez diverses, la technologie satellitaire n'étant que l'une d'entre elles.

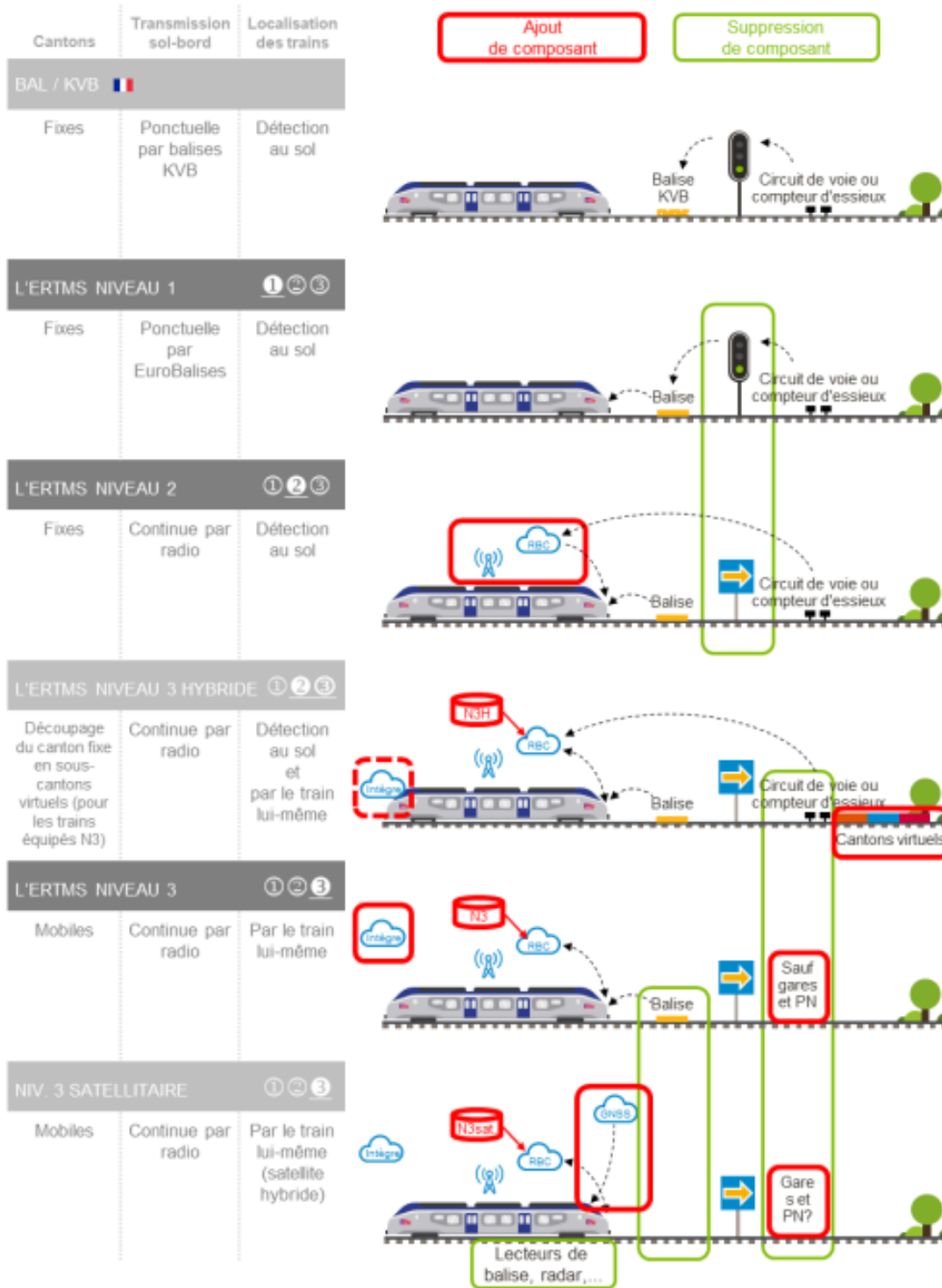
L'ERTMS Niveau 3 impose que chaque train se localise de manière sûre et garantisse à tout instant son intégrité. Par ailleurs, en Niveau 3, sur une même ligne, tous les trains devront en être équipés avant la mise en service du nouveau dispositif, ce qui rend les coûts et délais de mise en œuvre d'un Niveau 3 nominal encore quelque peu hasardeux.

Pour le sol, la complexité inhérente au Niveau 3 et à ses transitions géographiques avec les autres systèmes en place est à traiter :

- En pleine ligne, sur voie courante, l'application du principe du canton mobile est assez simple à imaginer.
- Son extension aux zones de gares est nettement plus subtile, puisqu'il s'agira là de s'en remettre à la localisation de chaque train, transmise par radio au sol, pour piloter les enclenchements et les itinéraires des postes d'aiguillages.
- Il faudra imaginer, pour ces secteurs, une variante des postes numérisés ARGOS que SNCF Réseau vient de concevoir avec la contribution de trois grands industriels, et dont les premiers de série vont être conçus puis déployés entre 2021 et 2023. Cette variante d'ARGOS est à imaginer intégralement. Il s'agirait d'une transformation très significative du système, à assortir d'une démonstration préalable de sa maîtrise en sécurité.
- L'exploitation en situation perturbée (avec des cas très nouveaux, comme la panne de courant d'un train générant la perte de sa localisation) et les zones de transitions entre systèmes de signalisation appelleront également des travaux soutenus.
- L'appel à la 5G et donc au FRMCS sera aussi incontournable, compte tenu des volumes de données à échanger avec de faibles temps de latence, de même que la plus haute performance en matière de cybersécurité (même s'il s'agit d'une constante pour tous les scénarios de numérisation).

La maîtrise du Niveau 3 nominal, sous tous les aspects fonctionnels, technologiques, sécuritaires, réglementaires et industriels, appelle encore un important travail, coordonné au niveau européen et impliquant tous les acteurs du secteur (opérateurs, industries, ingénieries, organismes de normalisation...).

Figure 21 : Différents niveaux d'ERTMS



7.5 ANNEXE 5 : les spécifications ERTMS

7.5.1 Spécification technique d'Interopérabilité d'ERTMS Niveau 2

Le projet sera équipé de l'ERTMS en application du règlement européen 2016/919 de la Commission européenne du 27 mai 2016 relatif à la spécification technique d'interopérabilité concernant les sous-systèmes « contrôle-commande et signalisation » du système ferroviaire dans l'Union européenne. Ce règlement a été publié au J.O. de l'UE n° L158 du 15/06/2016 et modifié par les règlements européens suivants :

- 2019/776 du 16 mai 2019, publié au J.O. de l'UE n° L 139I du 27 mai 2019
- 2020/387 du 9 mars 2020, publié au J.O. de l'UE n° L 73 du 10 mars 2020.

La version appliquée pour le sol est la baseline 3 release 2 (R2) et GSM-R baseline 1, plus simplement nommée 3.6.0.

7.5.2 Spécifications d'Interface avec l'infrastructure existante

Les STI décrivent bien, quand elles ont atteint un degré suffisant de maturité, les interfaces fonctionnelles et techniques entre le sol et les bords et le comportement attendu des bords, mais ne décrivent pas du tout les fonctionnalités du sol, et notamment l'interface entre ETCS et la signalisation (notamment les enclenchements, donc les postes d'aiguillage, en régime nominal et encore moins dans les modes dégradés).

Le référentiel ERTMS Ligne classique (DO-RSS : Document Référentiel Sous-Système : Ref. PRINCIPES GÉNÉRAUX ETCS NIVEAU 2 V1.2) élaboré par SNCF RESEAU précise les spécifications du sous-système contrôle-commande et signalisation ETCS et définit les principes ETCS N2 et N3H pour les lignes du réseau conventionnel sans signalisation latérale.

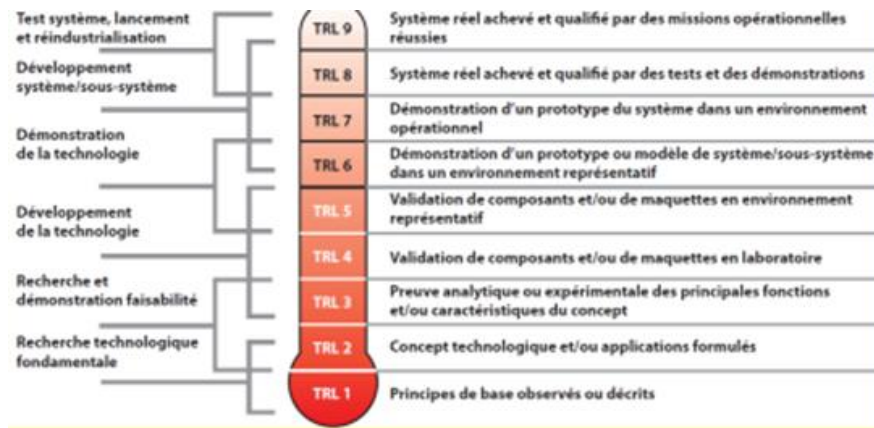
Ce référentiel intègre les principes du N3H définis dans le document « Hybrid ERTMS/ETCS Level 3 » Ref 16E042 Version : 1C Date : 13/07/2018 du EEIG ERTMS Users Group.

Le référentiel SNCF Réseau est rédigé en application des :

- Subset 026 V3.6.0 du 15/05/2016 « System Requirements Specification »
- Autres subsets : Annexe A de la 2016_919/CE : set de spécifications # 3 :
 - Subset 036 – V3.1.0 relatif au Eurobalise, - Subset 039 – V3.2.0 relatif au handover RBC/RBC,
 - Subset 040 – V3.4.0 relatif aux règles de dimensionnement et d'ingénierie,
 - Subset 041 – V3.2.0 relatif aux exigences de performances,
 - Subset 098 – V3.0.0 relatif à l'interface de communication RBC-RBC,
 - Subset 037 – V3.2.0 relatif à l'euroradio,
- - Subset 091 - V3.6.0 relatif aux exigences de sécurité de l'interopérabilité, - A11T6001 – V13.0 (FFFIS Euroradio).

7.5.3 Degré de maturité du référentiel européen relatif à l'ERTMS N3 Hybride :

Sur la base du document « Hybrid ERTMS/ETCS Level 3 » de l'ERTMS Users group et des avancées des essais de démonstration de prototype embarqué dans des trains en Angleterre et en Allemagne, le niveau de maturité technologique (Technological Readiness Level) est aujourd'hui à 7, selon l'échelle ci-dessous :



Une prochaine version de STI CCS (Spécification Technique d'Interopérabilité Contrôle Commande et Signalisation) sortira en 2022. Les gestionnaires d'infrastructures et les industriels sont réticents à la mettre en œuvre compte tenu des nouveaux développements qu'elle implique et des coûts afférents.

Niveau 2 : La STI Baseline 3.6.0 qui sera mise en œuvre sur le projet HPMV est mature et stabilisée. Baseline 4 : il y a un consensus pour dire qu'elle n'est pas prête et que c'est trop tôt pour la mettre en œuvre.

Niveau 3 Intégral :

Ce niveau suppose que les trains se localisent par eux-mêmes. Cette localisation repose notamment sur l'utilisation de GNSS qui à ce jour n'a pas une précision suffisante.

Ce niveau conduit par ailleurs à des modes dégradés complexes. A titre d'exemple : en absence de système au sol permettant de connaître la position du train, comment reprend-on l'exploitation en cas de panne de l'équipement à bord du train ?

HPMV a été présenté par la SNCF à l'EPSF comme un laboratoire pour avancer vers le Niveau 3 intégral.

Niveau 3 hybride :

Ce système ne diffère du Niveau 2, au niveau du sol (balises), que par le découpage informatique en sous cantons virtuels des cantons physiques (qui restent gérés par circuits de voie ou par compteurs d'essieux). Il est considéré par l'EPSF comme le meilleur moyen d'améliorer les performances d'exploitation par rapport au Niveau 2, sans prendre les risques du niveau 3 intégral. L'EPSF précise qu'il n'y a pas de référentiel reconnu par l'ERA pour le N3H. Il n'existe qu'une spécification produite par UNISIG et les industriels. Cette spécification est bien avancée mais pas encore mature.

7.5.4 Le système de contrôle de l'intégrité des trains

Il n'existe actuellement aucun moyen validé par l'ERA pour garantir le contrôle de l'intégrité des rames automotrices (dans la perspective d'ERTMS N3).

Il existe un référentiel publié par l'ERA sur le « Digital Coupling System », mais ce référentiel est très incomplet.

La démonstration de l'intégrité pour une rame automotrice en US ou UM ne semble pas insurmontable. Par contre pour une rame à composition variable (FRET ou voyageurs), cela est beaucoup plus problématique.

Il est prévu que la nouvelle STI CCS 2022 (à venir en fin d'année) emporte la définition des mécanismes d'intégrité des trains indispensables à la confirmation d'état d'occupation des zones virtuelles pour le niveau 3 Hybride.

7.5.5 Prise en compte du Rex des exemples européens D'ERTMS N3 ou N3H qui fonctionnent déjà ou sont en cours de déploiement (délai, coût, résultats)

En réponse aux questions posées par les CE, l'équipe projet SNCF RESEAU a précisé avoir mené un benchmark et poursuivre une veille régulière sur les autres projets et programmes européens (échange en 2019 au Danemark avec la Direction du projet de déploiement de l'ERTMS au sein du GI Banedanmark et les industriels partenaires ; échanges réguliers avec ses homologues de Suisse SBB-CFF (2021), des Pays-Bas Prorail (2020), d'Allemagne DB (2021), et d'Italie RFI .

L'équipe projet a aussi tiré profit des retours d'expérience interne à SNCF Réseau notamment sur le corridor Longuyon – Bâle avec les interfaces complexes avec le Luxembourg.

Enfin cette équipe se coordonne avec le gestionnaire d'infrastructure italien RFI pour cadrer le fonctionnement en interface des systèmes italiens et français, via un groupe de travail qui se réunit tous les deux mois.

Ces nombreux entretiens lui ont permis d'asseoir la stratégie de migration vers l'ERTMS, de clarifier des interfaces de fonctionnement, d'affiner l'architecture des systèmes et redondances, de cadrer les différentes phases d'essais, de conforter des hypothèses d'études, d'étalonner le planning directeur.

7.6 Annexe 6 : Outils utilisés par la SNCF pour faire l'étude de robustesse

- **Denfert V10.2 et V11** : Denfert est un simulateur de circulation ferroviaire. Il s'appuie sur le progiciel du marché Railsys ® de la société RMCon. Il comprend un module de conception horaire, avec prise en compte des règles SNCF, un module de modélisation de l'infrastructure et un module de simulation ferroviaire permettant de simuler des incidents. Il permet de modéliser un plan de transport et d'analyser ses performances d'exploitation.

Dans le cadre de cette étude, Denfert est utilisé pour modéliser l'infrastructure ferroviaire sur l'ensemble du périmètre et pour l'ensemble des scénarios, pour modéliser l'ensemble des plans de transport étudiés et pour simuler les circulations ferroviaires pour les différents plans de transport. Dans le cadre de cette étude stochastique, Denfert est également utilisé pour générer les distributions de retard, simuler les plans de transport ainsi perturbés et analyser les résultats

- **TPS/Disco** : Outil de conception horaire. TPS/Disco est utilisé dans le cadre de cette étude pour comparer les marches types Denfert et pour obtenir les données d'entrée pour plan de transport 2019 (horaires, RSF...)

- **Bréhat** : Outil permettant de consulter les informations relatives à la régularité des circulations ferroviaires. Bréhat est utilisé dans cette étude pour définir, à partir des données de régularité réelles, les distributions de perturbations injectées dans Denfert pour les simulations stochastiques.

- **Houat**: Outil permettant de consulter la base de données des sillons alloués. Cet outil est utilisé dans cette étude, en complément de TPS/Disco, pour obtenir des données horaires du plan de transport 2019.

7.7 Annexe 7 : Hypothèses et facteurs pris en compte pour la modélisation

7.7.1 Hypothèses sur les temps système

- Temps liés à la technologie ERTMS :
 - + GARE : 17s de temps de création d'itinéraires / 2s de temps de libération
 - + Ligne : 10s de temps de création d'itinéraires / 2s de temps de libération

- Temps système pris en compte dans les postes d'aiguillage par le logiciel de simulation Denfert :
 - + GARE : 17s + 9s = 26s de temps de création de l'itinéraire / 2s de temps de libération de l'itinéraire
 - + Ligne : 10s + 9s = 19s de temps de création / 2s de temps de libération

- Temps système BAL :
 - + 18s de temps de basculement des aiguilles
 - + 2s de temps de libération pour la plupart des cas

Remarques des CE :

Il est difficile de comprendre ces notions faute d'avoir leur définition dans le document.

Le temps de libération de 2 s correspond vraisemblablement à la temporisation à la remontée des circuits de voie, mais cette temporisation n'existe pas avec des compteurs d'essieux.

En BAL, le temps de basculement des aiguilles correspond au temps d'établissement des itinéraires dans les postes, dont les valeurs sont comprises entre 10 et 20 secondes. Une valeur de 18 secondes est compréhensible si on veut prendre une valeur unique. Mais cela est uniquement applicable pour les postes (et hors tracé permanent), cela ne dit rien du temps de fonctionnement du BAL en ligne.

En ETCS que recouvre précisément la notion de temps de création d'itinéraire ? Ce n'est apparemment pas l'équivalent du temps d'établissement des itinéraires dans les postes, puisque l'étude ajoute 9 s aux 17 s (cas des gares). À quoi correspond le temps de 9 s ? Au temps de traitement du RBC ? Est-ce à dire qu'on considère qu'au bout de 17 secondes l'itinéraire est « établi » au sens du seul poste, donc que le signal origine d'itinéraire peut être « ouvert », mais qu'il faut ensuite 9 secondes de traitement pour que l'ETCS affiche l'info au DMI ?

Si tel est le cas, à quoi correspondent les 10 sec prises à la place des 17 secondes pour la partie « ligne ». Si on est en ligne seul le temps de traitement ETCS après la libération doit être pris en compte Il n'y a pas de temps d'établissement d'itinéraire.

Conclusion : dans la mesure où les valeurs prises en compte pénalisent l'ETCS, cela ne risque pas de rendre la simulation trop optimiste, mais il serait souhaitable d'être au clair sur ce que recouvrent ces différents temps. Les notions utilisées ne sont pas toutes définies dans l'étude ce qui rend difficile la compréhension de ces hypothèses, mais elles sont a priori toutes pessimistes pour ERTMS. Cela ne conduit donc pas à surestimer la robustesse de la grille en faveur d'ERTMS par rapport au BAL.

7.7.2 Hypothèses sur le matériel roulant

Les matériels roulants pris en compte dans cette étude n'appellent pas de remarques.

Sont prises en compte dans les tests stochastiques toutes les missions qui passent par au moins deux gares du périmètre géographique de l'étude.

7.7.3 Hypothèses sur les perturbations injectées pour les tests stochastiques

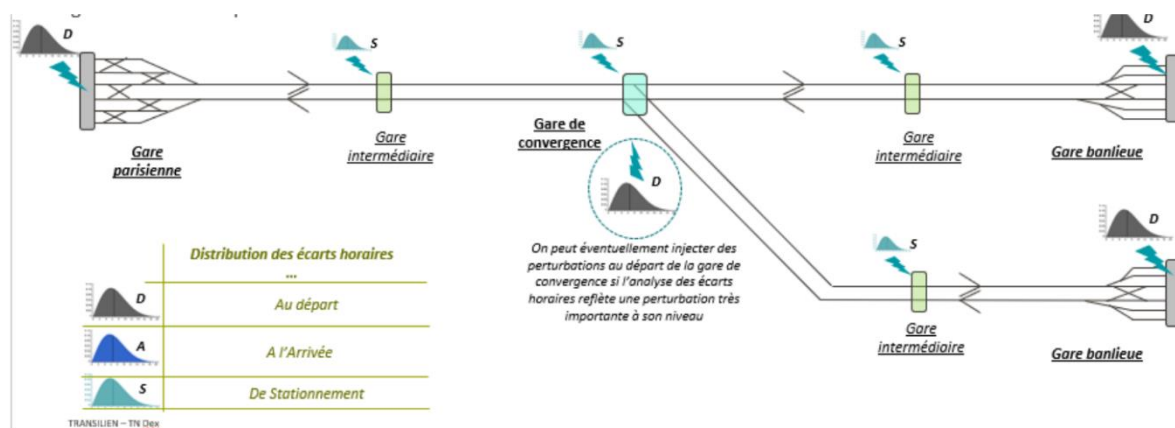
Les distributions de retard décrivent les probabilités ou les chances qu'ont les trains de subir un retard. Les probabilités de retard pour le périmètre en question sont déduites des données BREHAT disponibles (années 2017, 2018 et 2019 entre Marseille – Blancarde et Monaco).

Le seuil maximal des retards injectés est fixé à 5min.

Les perturbations « origines » ont été injectées dans les gares suivantes considérées comme gares de départ : Aubagne, Marseille-Blancarde, Nice, Toulon, Monaco, Cannes, Carnoules, Les Arcs, La Pauline et St-Raphael

Les perturbations de “sur-stationnement” (écart horaire due au sur-stationnement) ont été injectées au niveau des gares avec arrêt et pour lesquels les données BREHAT sont disponibles.

Aucune perturbation n'a été injectée ni sur les temps de parcours, ni dans les gares d'arrivée.



Le graphique ci-dessus illustre les endroits où ont été injectées les perturbations de sur-stationnement, et ceux où ont été injectés les perturbations origines.

7.7.4 Hypothèses sur les perturbations pour les tests unitaires

Les retards injectés pour les tests unitaires ont été déduits de l'étude exploitation « HPMV : Analyse de la régularité basée sur une analyse des données BREHAT qui s'étalent sur les années 2017, 2018 et 2019 entre Marseille – Blancarde et Monaco (indisponibilité de données au-delà).

Types d'incidents :

- TGV impair : retard 9min à l'entrée du périmètre, à Blancarde
- TGV Pair : sur-stationnement de 12 min en gare de Nice
- SD Impair : sur-stationnement 8min en gare de Cannes
- SD Pair : sur-stationnement de 12 min en gare de Nice

- SD Pair : arrêt accidentel de 15min en ligne au niveau de Le Luc suite incident du PN 29 au KM119.439.
- Omnibus Impair Marseille-Hyères : Sur-stationnement 8min en gare de Toulon
- Omnibus Impair Les Arcs- Cannes : Sur-stationnement 8min en gare de Cannes-Bocca
Omnibus Impair Grasse Menton : retard de 10min au départ de Grasse
- Omnibus Pair Hyères-Marseille : retard de 10min au départ de Hyères
- Omnibus Pair Vintimille-Cannes : Sur-stationnement 8min en gare de Menton Garavan
- Omnibus Pair Menton-Cannes : sur-stationnement de 12min en gare de Nice Omnibus Pair Vintimille-Grasse : sur-stationnement de 8min en gare de Cannes

Les incidents choisis semblent assez représentatifs des petites perturbations d'exploitation qu'on peut rencontrer sur une ligne telle que Marseille-Vintimille (sans trafic fret pour la simulation) à partir du moment où on ne prend pas en compte les incidents importants, incidents pour lesquels le trafic est très perturbé et le résultat obtenu est surtout la conséquence des choix de régulation et de suppression qui sont faits, la performance du système de signalisation lui-même n'intervenant que pour une faible partie dans le résultat final.

Cela conduit à ne pas prendre en compte les suppressions de train et pourtant, c'est la perturbation qui est la plus mal acceptée par les voyageurs. On finit par comparer la robustesse des deux systèmes de signalisation sur un périmètre très réducteur par rapport à la réalité perçue par les voyageurs.

7.7.5 Hypothèses de régulation (gestion des priorités entre trains)

Les règles appliquées par le modèle semblent un peu différentes de celles applicables aujourd'hui selon lesquelles un train est considéré à l'heure si son retard est inférieur à 5 minutes et un train à l'heure ne peut être désheuré pour un train en retard.

La raison de ces différences n'est pas explicitée dans le rapport.

Les règles applicables sont disponibles dans le DRR accessible sur le site de SNCF Réseau.²⁶

Extrait du Document de Référence du Réseau 2023 - Version 0 du 10 septembre 2021 SNCF RÉSEAU | Page 151 CHAPITRE 6 – EXPLOITATION FERROVIAIRE :

« 6.3.2.2. Règles d'exploitation lorsque les conditions théoriques de circulation ne peuvent pas être assurées Tout événement avéré ou potentiel perturbant la compatibilité entre trains, ou entre trains et travaux, fait l'objet d'une détection et d'un diagnostic des conflits de la part des acteurs en charge de la veille active de la circulation. Priorité de circulation entre trains Lors d'un conflit de circulation, des trains empruntant des sillons compatibles lors de la construction du graphique, circulent de telle manière qu'ils se gênent ou vont inévitablement se gêner. Le SGC décide, le cas échéant, d'un nouvel ordonnancement de ces trains, c'est-à-dire la modification de l'ordre dans lequel ils vont circuler. Les principes d'application de règles de priorité sont les suivants :

- l'ordonnancement ne s'applique que si celui-ci est physiquement possible (infrastructure permettant le dépassement des trains).

²⁶ La dernière version disponible est celle du SA2023, l'article concerné est le 6.3.2.2.

- Un train est considéré à l'heure si son retard est inférieur à 5 minutes.

- Un train à l'heure ne peut être désheuré pour un train en retard, notamment un train de marchandises empruntant un corridor de fret.

Cette règle n'est cependant pas absolue et le SGC peut y déroger dans l'intérêt de la fluidité ou de la recherche d'un débit maximal.

Cependant, dans une gare de passage dans laquelle un train a son origine, il y a lieu de privilégier le départ de ce train par rapport à un train plus rapide de même sens dont le retard n'excède pas 5 minutes s'il est possible de revenir à l'ordonnancement initial rapidement (garage...).

Le traitement non discriminatoire des EF par le SGC se traduit par les règles de priorité dans les cas suivants :

- conflits entre trains d'EF différentes :

- Si les trains en conflit sont tous en retard, ils sont classés par ordre décroissant de vitesse (c'est la vitesse moyenne résultant du service assuré par les trains sur la section de ligne concernée qui est prise en compte).

- En cas de nouvelle équivalence, la priorité est accordée au train transportant des voyageurs par rapport à celui n'en transportant pas. - Puis, en cas de nouvelle équivalence, priorité est donnée au train international.

- Enfin, en cas de nouvelle équivalence, priorité est donnée au train dont l'horaire théorique est antérieur à celui du second (respect de l'ordre théorique).

- conflits entre trains d'une même EF (dont la production est répartie entre plusieurs entités opérant chacune de manière plus ou moins autonome sur un service de transport) : L'ordonnancement est réalisé selon les principes communiqués au préalable (pour un horaire de service) par l'EF concernée, dans la mesure où ils n'entraînent pas de réduction de la capacité du réseau et qu'ils sont validés par le SGC. A défaut de communication de tels principes, le SGC applique les règles définies ci-dessus. L'ensemble de ces règles prévaut également sur les règles particulières propres aux EF. L'ultime choix opérationnel revient au SGC. »

7.7.6 Hypothèses sur le comportement conduite

Les hypothèses semblent raisonnables. Toutefois rien n'est dit sur la manière dont **le comportement du conducteur est modélisé quand il franchit un signal fermé** : en situation nominale, c'est normalement assez rare, puisqu'on est censé tracer les marches à voie libre (sauf impossibilité, comme alternat ou réception en gare avec un arrêt assez long). Mais en situation de simulation, c'est forcément beaucoup plus fréquent et explique probablement une part du gain permis par ETCS, avec une conduite plus « dynamique » que la conduite permise (ou contrainte) par le KVB.

7.7.7 Hypothèses prises pour le calcul du taux d'occupation des différentes grilles

Il aurait été intéressant de connaître le taux d'occupation de l'heure de pointe, une moyenne sur la journée peut cacher des situations fort différentes.

7.8 Annexe 8 : Rôles de l'EPSF et de l'ERA pour tout projet de signalisation important réalisé sur le RTE-T

Tout projet de signalisation important réalisé sur le RTE-T doit être dorénavant soumis à l'accord non seulement de l'EPSF, mais également de l'ERA.

L'EPSF délivre l'Autorisation de Mise en Service (AMS, autrefois appelée AMEC Autorisation de Mise en Exploitation Commerciale) après avoir vérifié la complétude des dossiers **DDS (Dossier de Définition de Sécurité)**, **DPS (Dossier Préliminaire de Sécurité)** et **DS (Dossier de Sécurité)** fournis par SNCF Réseau.

L'ERA (appelée maintenant European Union Agency for Railway) approuve l'interopérabilité du projet après avoir vérifié la complétude du dossier « **Trackside Approval** »

C'est le cas pour le projet HPGVSE (désormais appelé LGV+ PARIS-LYON) et pour le projet HP MV.

Les autorisations de l'EPSF et de l'ERA concernent le sol et le bord.

À noter que l'**AMS est donnée pour une ligne donnée**, elle n'est pas générique.

7.8.1 Les acteurs et leurs missions

AsBo : Assessment Body

- Organisme d'évaluation dans le cadre du règlement européen, chargé de la vérification des études MSC (Méthodes de Sécurité Communes)

DeBo : Dedicated Body :

- Organisme désigné, chargé d'évaluer la conformité aux règles nationales

NoBo :

- Notified Body chargé de vérifier la conformité du sous-système ETCS à la STI Contrôle Commande et Signalisation

ISA : Independant Safety Assessor pour le compte de l'industriel ;

EPSF : Délivre l'Autorisation de Mise en Service après avoir vérifié la complétude des dossiers **DDS**, **DPS** et **DS** fournis par SNCF Réseau

EUAR - European Union Agency for Railways (ex - ERA): Approuve l'interopérabilité du projet LGV+ PARIS-LYON après avoir vérifié la complétude du dossier « **Trackside Approval** ».

L'industriel fournit des plans et rapports ISA et NoBo qu'il intègre dans son GASC (DS générique) pour son périmètre.

Nota : CERTIFER assure, pour LGV+ PL, les missions de DeBo, AsBo et NoBo pour SNCF-R.

7.8.2 Processus EPSF pour une Autorisation de Mise en Service:

La demande d'AMS repose sur la présentation des trois dossiers successifs suivants :

- le dossier de définition de sécurité (DDS),
- le (ou les) dossier(s) préliminaire(s) de sécurité (DPS),

- le dossier de sécurité (DS).

Figure 22 : Cycle de vie du projet aboutissant à l'AMS

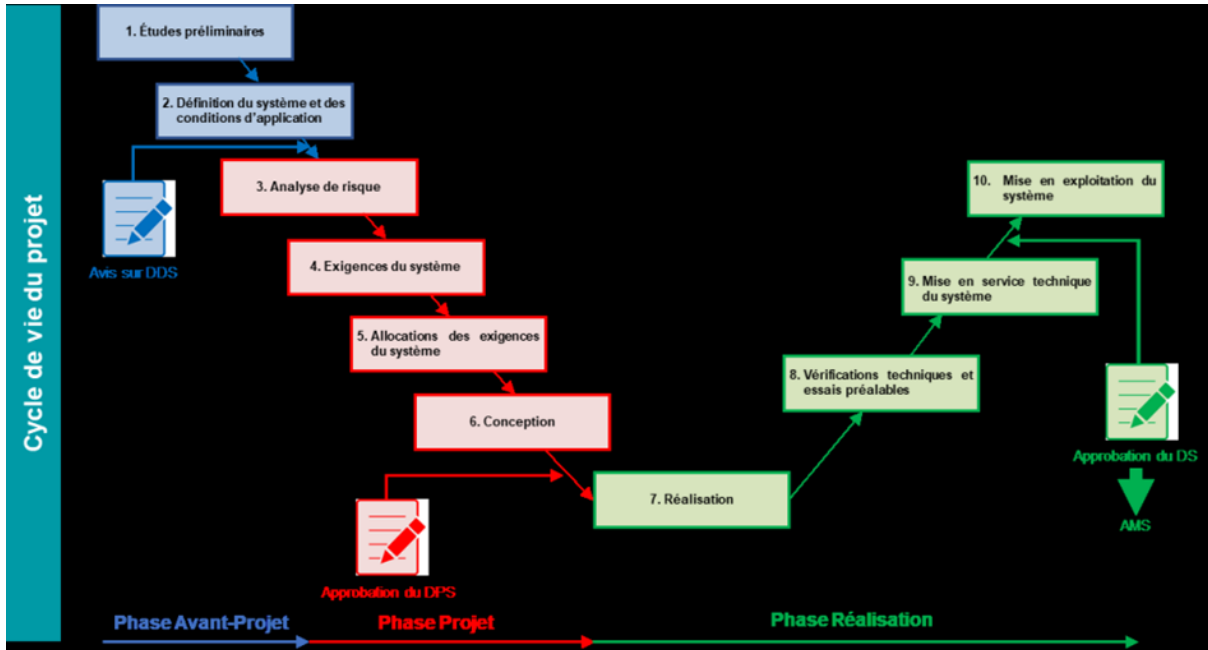


Figure 23 : Délais administratifs avant AMS

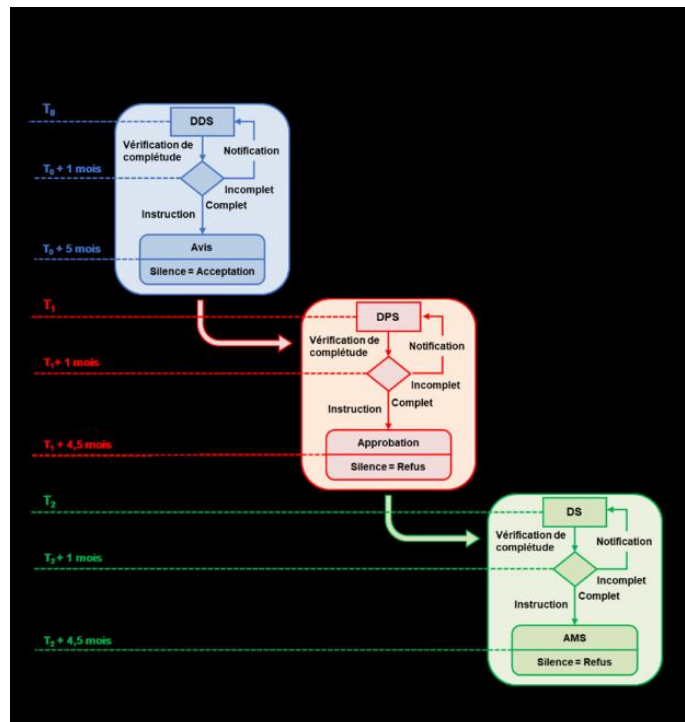


Tableau 12 : Intervention des organismes

Type de demande	Dossier	Organisme d'évaluation
Autorisation de mise en service	DDS	Au choix du demandeur
	DPS	AsBo NoBo DeBo
	DS	AsBo NoBo DeBo

7.8.3 Processus ERA

Le processus avec l'EUAR fait partie du 4ème paquet ferroviaire (juin 2019).

Un dossier « Trackside Approval » est à fournir (voir une synthèse des documents à fournir dans ce dossier à l'annexe 9).

Les documents fournis par l'industriel sont transmis à l'ERA.

Ce dossier doit normalement être évalué par le NoBo et DeBo . L'EUAR appuie sa décision sur l'avis de l'EPSF (donc indirectement sur l'avis des NoBo et DeBo).

Le promoteur du projet a tout intérêt à impliquer l'ERA et l'EPSF depuis le début du projet, notamment au travers de réunions techniques.

Le dossier « Trackside approval » est construit au fur et à mesure de l'avancement du projet,

Une base de données européenne alimentée par les réseaux et EF reprend les cas de non interopérabilité identifiés. SNCF-R doit démontrer que ces cas ne se présentent pas dans sa solution.

L'ERA ne peut pas connaître les spécificités des signalisations de chaque pays. Il se limite à l'interopérabilité de l'interface bord-sol.

1. C'est à SNCF-R de donner les spécificités et règles nationales françaises pour ETCS afin que l'EUAR se prononce sur leurs acceptations au regard de l'interopérabilité.
2. L'EUAR ne s'intéresse qu'à ETCS (fonctionnel des sous-systèmes bord et sol ETCS).
3. L'enclenchement, la détection des circulations, ... sont du ressort exclusif de l'EPSF, c'est clairement affiché dans son guide.

7.9 Annexe 9 : Extrait du « Guide d'application pour l'approbation du sous-système sol par EUAR (l'Agence) »

La directive 2016/797 définit l'objectif et les règles générales en matière d'agrément de l'Agence des chemins de fer de l'Union européenne au regard de l'article 19 de la directive (UE) 2016/797.

L'Agence est chargée de l'approbation des solutions ETCS au sol. Celle-ci vise à assurer l'interopérabilité des solutions techniques du sous-système sol. Le processus mis en place doit permettre d'identifier les problèmes liés à l'interopérabilité au plus tôt et d'éviter qu'ils ne se répètent pas dans d'autres projets. Afin de faciliter le processus d'approbation, il est nécessaire dès le début du projet et bien avant le dépôt de la demande d'engager un dialogue entre SNCF Réseau et l'Agence.

La suite de cette annexe synthétise les pièces justificatives pour constituer le dossier à fournir à l'Agence.

7.9.1 Description du projet

La ligne doit être décrite très précisément, de manière unique et non ambiguë, elle doit inclure :

- Le nom de la ligne, les voies équipées, points kilométriques de début et de fin, nombre de kilomètres équipé en simple et double voie,
- Le nom des signaux d'entrée et de sortie,
- Le nombre de gares, les signaux situés sur la ligne, les connexions avec les autres lignes,
- Le réseau GSMR et l'usage auquel il est destiné (mode circuit, paquet, phonie...),
- Les versions ETCS, les constituants d'interopérabilité, ...

7.9.2 Preuve que le marché inclue la STI de contrôle-commande et de signalisation

7.9.3 Planning du projet

Le planning doit faire apparaître :

- les résultats attendus, les jalons et les délais,
- les phases de développement et de déploiement des différentes baselines.

Il doit permettre de fixer un délai raisonnable pour l'instruction de la demande.

7.9.4 Liste des fonctions ETCS

Les fonctions mises en œuvre doivent être identifiées en utilisant le modèle du guide d'application.

7.9.5 Démonstration de la prise en compte des risques pour l'interopérabilité

Les références aux exigences de conception pour résoudre et contrôler les problèmes identifiés sont à tracer dans un « journal des problèmes » fourni à l'Agence.

7.9.6 Règles d'ingénierie et scénarios de tests opérationnels

Les exigences doivent être suffisantes pour décrire les fonctions pertinentes du sous-système sol et doivent :

- être cohérentes avec la STI CCS,
- supposer que les fonctions des sous-systèmes bords sont conformes à la STI CCS,
- être utilisées pour la vérification du sous-système sol.

La spécification fonctionnelle et technique ainsi que les scénarios de test en mode nominal et dégradé sont à fournir à l'Agence. Le format est libre, mais chaque document doit être clairement identifié (description, version, auteur...).

7.9.7 Stratégie de test et plan de test

La stratégie de test et le plan de test doivent être remis à l'Agence. Ils doivent préciser toutes les phases d'essais réalisés en laboratoire et sur site, les différentes versions testées, les entités responsables, les environnements, les outils d'essais, les objectifs. Les versions des bords utilisés seront précisées (certification par rapport à quelle STI et baseline). Les activités de tests sont à intégrer au planning.

7.9.8 Compatibilité technique et opérationnelle entre sol et bord

Toutes les conditions et contraintes à respecter par le train pour circuler sont à fournir à l'Agence. La liste des trains destinés à circuler sur LGV+ Paris – Lyon, est à fournir à l'Agence.

7.9.9 Autorisation antérieure ou avis d'une ANS

Si des parties ETCS de la demande ont déjà été autorisées, l'Agence doit être informée. Les avis des ANS sont à fournir à l'Agence.

7.9.10 Certificats CE et déclarations de conformité des constituants d'interopérabilité

Les certificats CE et les déclarations de conformité des constituants d'interopérabilité sont à soumettre à l'Agence. En cas d'écart, le modèle de l'Agence doit être utilisé.

7.9.11 Certificats CE et déclarations de conformité du sous-système sol

Les certificats CE et les déclarations de la conformité à la STI du sous-système sont à soumettre à l'Agence. En cas d'écart, le modèle de l'Agence doit être utilisé.

7.9.12 Règles nationales

Les règles nationales relatives à ETCS applicables sont à soumettre à l'Agence.

7.9.13 Exemption de l'application d'une ou de plusieurs STI ou de parties de celles-ci

Aucune demande de dérogation n'est demandée pour le projet LGV+ Paris - Lyon.

7.9.14 Identification des approbations précédentes

Les parties de dossier ayant déjà fait l'objet d'une approbation peuvent être réutilisées (exemple : Eurobalise et LEU). Les parties communes et les modifications devront être clairement identifiées.

7.10 Annexe 10 : Détail des interventions de l'EPSF et de l'ERA dans le cadre du projet HP MV

Synthèse des auditions réalisées par les contre-experts.

7.10.1 Intervention de l'EPSF pour la validation du déploiement ERTMS sur Marseille Vintimille

L'EPSF connaît le projet HPMV essentiellement par le Dossier de Définition de la Sécurité (DDS) présenté par la SNCF sur lequel l'EPSF a émis un avis positif le 14/06/2022.

DDS

La première intervention de l'EPSF pour un tel projet consiste à émettre un avis sur le DDS (Dossier de Définition de la Sécurité). Ce dossier décrit le projet et précise les aspects innovants, notamment les principes de sécurité que le projet envisage de mettre en œuvre.

Comme dit plus haut, l'EPSF a émis un avis positif sur le DDS du projet le 14/06/2021. Cet avis est uniquement consultatif et n'est pas contraignant. L'EPSF a assorti son avis d'un certain nombre de recommandations :

- Attention à la gestion de projet et au respect des échéances de fournitures des documents et avis requis
- L'EPSF a demandé à l'équipe projet de le tenir au courant de ses tractations avec l'ERA. C'est en effet le premier projet de ce type traité par l'EPSF suite à la mise en œuvre de quatrième paquet ferroviaire le 16/06/2019 qui a étendu les prérogatives de l'ERA.

DPS

La prochaine étape est la fourniture du DPS (Dossier Préliminaire de Sécurité).

Ce dossier est destiné à présenter tous les risques pouvant avoir un impact sur la sécurité que le demandeur a identifiés et présente sa stratégie de démonstration de la sécurité (les solutions que le demandeur propose de mettre en œuvre pour maîtriser ces risques).

L'EPSF devrait recevoir la première version du DPS en octobre 2022.

L'EPSF a 4 mois pour instruire ce dossier. L'EPSF doit approuver ce dossier.

DS

Le Dossier de Sécurité (DS) boucle ce qui a été annoncé dans le DPS. Il décrit les solutions effectivement mises en œuvre pour maîtriser les risques sécurité. Il donne par exemple les résultats des essais.

L'EPSF a 4 mois pour instruire ce dossier. L'EPSF doit approuver ce dossier. C'est ce qui permet à l'EPSF de délivrer l'AMS (l'Autorisation de Mise en service), après toutefois avoir reçu l'avis de l'ERA sur le respect des spécifications d'interopérabilité (« Trackside Approval »).

7.10.2 Relations entre l'EPSF et l'ERA pour la validation des systèmes

Depuis la bascule sur le quatrième paquet ferroviaire, il faut un accord entre l'ERA et l'ANS (Agence Nationale de Sécurité, l'EPSF en France) avant de délivrer une autorisation de circuler pour un matériel roulant ou mettre en service pour une installation d'infrastructure.

Pour les EF internationales, l'ERA délivre un certificat unique valable dans toute l'UE.

Les gestionnaires d'infrastructure nationaux ont le choix de passer soit par l'EPSF qui répercute ensuite à l'ERA, soit de s'adresser directement à l'ERA. Jusqu'à maintenant, 100 % des cas sont passés par l'EPSF.

C'est le même processus pour les autorisations de circulation des Matériels roulants.

Pour l'EPSF, le projet HPMV sera le premier projet mettant en œuvre ERTMS, à suivre ce nouveau processus.

L'EPSF indique que la coopération avec l'ERA se passe bien. L'ERA a d'ailleurs accordé à l'EPSF une délégation pour certaines tâches.

Le projet HPMV fait partie des « Learning cases » pris en compte pour rôder la procédure entre l'ERA et les ANS.

7.11 Annexe 11 – avancement du déploiement de l’ERTMS

Tableau 13 : Sections équipées en ERTMS/ETCS au 1/1/2022

Country	ERTMS/ETCS-enabled route length	Share of ERTMS/ETCS-enabled route length
<i>Unit</i>	<i>kilometres</i>	<i>%</i>
<i>Year</i>	<i>2020</i>	<i>2020</i>
AT - Austria	447	8%
BE - Belgium	1 915	53%
BG - Bulgaria	143	4%
HR - Croatia	54	2%
CZ - Czech Republic	-	0%
DK - Denmark	164	6%
EE - Estonia	-	0%
FI - Finland	-	0%
FR - France	1 109	4%
DE - Germany	373	1%
GR - Greece	-	0%
HU - Hungary	188	2%
IE - Ireland	-	0%
IT - Italy	709	4%
XK - Kosovo**	-	0%
LV - Latvia	-	0%
LT - Lithuania	-	0%
LU - Luxembourg	266	98%
NL - Netherlands	n/a	
MK - North Macedonia	n/a	0%
NO - Norway	-	
PL - Poland	940	5%
PT - Portugal	n/a	
RO - Romania	200	2%
RS - Serbia	-	0%
SK - Slovakia	n/a	
SI - Slovenia	411	34%
ES - Spain	2 186	14%
SE - Sweden	573	5%
CH - Switzerland	3 917	74%
UK - United Kingdom	-	0%
All countries	13 595	6%

Source : rapport ERA ACI international, 24/03/2022

