



MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

Réinventer l'exploitation ferroviaire du réseau structurant

Circulation des trains : comment préparer, en 2019, le schéma de numérisation et
d'automatisation des lignes à grand trafic

Rapport n° 012348-01
établi par

Denis HUNEAU et Hervé de TRÉGLODÉ

Décembre 2018



Les auteurs attestent qu'aucun des éléments de leurs activités passées ou présentes n'a affecté leur impartialité dans la rédaction de ce rapport.

Statut de communication	
<input type="checkbox"/>	Préparatoire à une décision administrative
<input type="checkbox"/>	Non communicable
<input type="checkbox"/>	Communicable (données confidentielles occultées)
<input type="checkbox"/>	Communicable

Sommaire

Résumé.....	4
Liste des recommandations.....	6
Introduction.....	7
1.1. Il est incontestable que SNCF Réseau offre une insuffisante qualité de service.....	7
1.2. D'importants investissements d'infrastructure sont nécessaires.....	8
1.3. ... mais fiabiliser l'exploitation est primordial.....	8
1.4. Qu'est-ce que l'exploitation ferroviaire ?.....	9
1.5. L'intérêt de l'automatisation n'est pas contestable.....	10
2. Les actuels projets de modernisation de l'exploitation.....	12
2.1. Selon SNCF Réseau, le programme de renouvellement est exécuté trop lentement pour enrayer le vieillissement des postes.....	12
2.2. Le projet de <i>Commande centralisée du Réseau</i> (CCR) s'exécute bien plus lentement qu'il n'était prévu en 2010 quand il a été engagé.....	14
2.3. Le <i>Système industriel de production horaire</i> (SIPH) prend du retard.....	15
2.4. La <i>Modernisation de la gestion opérationnelle des circulations</i> (MGOC) est un projet dont la réalisation a commencé en 2017 et qui s'achèverait en 2025 au plus tard.....	16
2.5. Jusqu'à présent le déploiement d'ERTMS a été conduit par les seules exigences réglementaires.....	17
2.6. La modernisation de l'exploitation est urgente en Île-de-France, mais elle se prépare avec lenteur.....	19
2.6.1. <i>Le réseau ferré d'Île-de-France est très dense, et doit être modernisé spécifiquement.</i>	19
3. Les orientations de SNCF Réseau concernant le projet RHP.....	22
3.1. SNCF Réseau a commencé à définir son projet RHP.....	22
3.2. Le projet « <i>Haute Performance Grande Vitesse Sud-Est</i> » (HPGVSE) est engagé.	24
3.3. La modernisation de la ligne entre Marseille et Vintimille est dans une phase d'étude bien avancée.....	24
3.4. Pour le réseau conventionnel, SNCF Réseau a esquissé le plan du projet RHP.....	25
3.5. Des démarches semblables au projet RHP sont engagées dans toute l'Europe....	27
3.6. Selon la mission du CGEDD, le projet RHP s'impose.....	27
4. Les enjeux à étudier par SNCF Réseau pour dresser le schéma de modernisation.....	29
4.1. L'équipement des matériels roulants en ETCS est un sujet de grande importance..	29
4.2. La perspective d'une conduite automatique des trains doit être prise en compte sans attendre dans le projet RHP.....	30
4.3. Aujourd'hui, hors d'Île-de France, le projet RHP ne comporte pas de TMS moderne et complet.....	32
4.4. Le projet RHP doit faire preuve d'agilité technologique.....	32
4.4.1. <i>Les trains de demain se localiseront eux-mêmes</i>	33
4.4.2. <i>Les trains de demain vérifieront eux-mêmes leur intégrité</i>	33

4.4.3. Un niveau intermédiaire de l'ETCS entre les niveaux 2 et 3 offrira demain bien des avantages.....	34
4.4.4. D'autres innovations sont encore possibles.....	34
4.5. Le déploiement du projet RHP doit s'inscrire dans la <i>logique d'axes</i> , et porter d'abord sur les zones à plus haute densité de circulation.....	35
4.5.1. SNCF Réseau s'est engagé dans une <i>logique d'axes</i>	35
4.5.2. Le projet RHP doit se concentrer sur les zones denses durant sa première période de vingt ans.....	36
4.6. Le nouveau cadre économique posé par la loi pour un nouveau pacte ferroviaire va profondément modifier la manière d'évaluer les projets de SNCF Réseau.....	39
4.6.1. Les projets de modernisation ou de développement ont été évalués jusqu'à présent comme des projets qui viennent s'ajouter à des opérations de renouvellement.....	39
4.6.2. Les projets de modernisation devront demain être justifiés au premier euro.	40
4.7. Pour déployer le projet RHP, SNCF Réseau devra mobiliser tous les leviers d'économie de ses politiques industrielles.....	42
4.7.1. La politique de système doit s'inscrire dans la perspective d'un déploiement progressif du projet RHP, et fournir une boîte à outils pour entreprendre à bon escient l'étude et l'exécution de chaque sous-projet.....	43
4.7.2. La transformation technologique ne sera possible qu'avec une modification profonde de la politique industrielle.....	44
4.7.3. Le réexamen des procédures de sécurité est indispensable.....	48
4.7.4. Le projet RHP doit être au cœur des enjeux sociaux de SNCF Réseau.....	49
4.8. Le projet RHP doit comprendre les mesures propres à protéger les nouveaux systèmes (cybersécurité).....	49
Conclusion.....	50
Annexes.....	51
1. Lettre de mission.....	52
2. Les principes de la signalisation ferroviaire.....	54
3. L'automatisation des opérations de conduite des trains.....	56
4. ETCS, pivot de la numérisation de l'exploitation ferroviaire.....	57
4.1. ERTMS est un système moderne répondant à une exigence d'interopérabilité.....	57
4.2. mais dont la difficulté de mise au point.....	58
4.3. ...et les contraintes économiques ont été sous-estimées.....	59
4.4. ETCS a trouvé un second souffle avec le renouveau technologique.....	60
5. Les projets de trains autonomes.....	62
6. Les scénarios étudiés pour le déploiement d'ERTMS en 2016.....	64
7. Cartes des lignes UIC n° 1 à 9 du réseau ferré national.....	66
8. Ponctualité des trains de voyageurs en 2014 en Europe et au Japon.....	68
9. La diminution des coûts du projet RHP.....	69

9.1. L'investissement pour l'équipement au sol du projet RHP peut parfois être diminué en conservant des postes ou blocks anciens.....	69
9.2. La solution du PPP a déjà été utilisée en Europe avec succès pour l'équipement de lignes à grande vitesse en ERTMS.....	69
9.3. La solution de la conception-réalisation a été réalisée avec succès pour construire le PAI des Ardoines en trois ans seulement.....	69
9.4. SNCF Réseau prépare l'achat de postes informatiques à haute performance, moins coûteux.....	70
9.5. Les procédures pour la réalisation des nouveaux postes sont anormalement longues et onéreuses.....	70
9.6. Hors de France, l'industrie accomplit souvent une part bien plus importante des travaux de modernisation.....	70
9.7. La Suisse prépare son projet <i>SmartRail 4.0</i> en visant une diminution annuelle des coûts d'environ 400 millions d'euros, une augmentation de la capacité de 30 % et une augmentation de la disponibilité des installations de signalisation de 50 %.....	71
9.8. L'ERA, comme la Suisse, croit que les réseaux européens doivent vite équiper leurs lignes avec le niveau 3 de l'ERTMS, afin de diminuer le nombre des équipements ferroviaires en campagne.....	73
10. L'équipement en ETCS des matériels roulants.....	74
10.1. Une condition essentielle.....	74
10.2. Un parc français très peu équipé en ETCS.....	74
10.3. Le <i>retrofit</i> est à supporter par les entreprises ferroviaires.....	74
10.4. Mais une aide est à prévoir pour le fret.....	75
10.5. Le développement de l'EVC portable.....	77
10.6. L'appel à l'industrie pourrait accélérer le <i>retrofit</i>	78
11. Modalités d'étude par SNCF Réseau des sous-projets du projet RHP 2020-2040.....	79
12. Liste des personnes rencontrées.....	80
13. Glossaire des sigles et acronymes.....	82

Résumé

Dans le nouveau cadre formé par la loi du 28 juin 2018, SNCF Réseau doit développer un projet industriel permettant d'offrir aux entreprises ferroviaires des sillons de qualité.

Par lettre ministérielle du 4 juin 2018, le CGEDD s'est vu confier la mission d'étudier comment l'État pouvait « accompagner » SNCF Réseau dans « le lancement de la démarche » en vue d'un schéma pour la modernisation de la signalisation ferroviaire. Le schéma portera sur un projet que SNCF Réseau a appelé *Réseau à haute performance* (RHP).

La mission du CGEDD a d'abord revu les résultats des indicateurs de qualité (régularité, robustesse, etc.), et les conclusions des rapports nombreux qui ont été commandés par l'État ou par SNCF Réseau sur l'état du réseau ferré. Il lui est apparu incontestable que la qualité de service est insuffisante en France au regard de l'attente des entreprises ferroviaires et de leurs clients. L'attente sera plus pressante encore après l'ouverture à la concurrence. Fondé tout particulièrement sur l'**automatisation** des fonctions d'espacement, d'enclenchement et de régulation, le projet de modernisation de la signalisation dit RHP répond à un besoin dont l'urgence ne fait aucun doute.

Dans un second temps, la mission du CGEDD a analysé le projet appelé *Réseau à haute performance* (RHP) esquissé par SNCF Réseau. Il a été présenté au ministère chargé des transports en 2017 et 2018.

Le projet RHP s'appuie sur plusieurs projets à l'étude ou en exécution : renouvellement des installations de signalisation, déploiement d'ERTMS (niveau 2), déploiement des systèmes NExTEO et ATS+ au cœur du RER d'Île-de-France, régulation intelligente, commande centralisée des enclenchements (CCR et CCU), révision des procédures et processus. La mission du CGEDD propose d'intégrer dans cette démarche deux autres projets : la modernisation de l'allocation des sillons et l'automatisation de la conduite des trains (*Automatic Train Operation* dit ATO).

Tous ces projets sont préparés ou exécutés trop lentement par SNCF Réseau, et surtout sans coordination suffisante. Ailleurs en Europe, l'engagement est souvent bien plus ambitieux.

Les avantages économiques du projet RHP seront d'autant plus importants et sûrs que les équipements conservés au sol seront moins nombreux. C'est pourquoi il est indispensable d'enlever les équipements de signalisation latérale dès qu'un axe ou un nœud est équipé en ERTMS. Mais alors, les voies équipées ne peuvent plus être utilisées que par des matériels roulants eux-mêmes équipés. Devient ainsi impératif le *retrofit* (rééquipement) des matériels anciens. Cette opération est onéreuse : entre 0,4 et 0,5 million d'euros par locomotive par exemple. La question financière est surtout difficile pour le transport du fret.

Le financement du projet RHP est un sujet qui reste à étudier et dénouer. Pour être possible dans le cadre strict des règles fixées par l'État à SNCF Réseau, celles d'aujourd'hui et plus encore celles de demain, il exigera une importante diminution des coûts d'investissement et de maintenance. Ce gain économique sera singulièrement obtenu par un plus grand recours aux entreprises extérieures, sources d'innovation et de progrès, et par une révision des politiques industrielles de SNCF Réseau.

La mission du CGEDD a présenté **neuf recommandations** pour orienter la préparation par SNCF Réseau du schéma de modernisation.

Elles peuvent être regroupées en cinq grandes nécessités :

- préparer avant le 1^{er} janvier 2020 un projet RHP exécuté en deux décennies (2020-2040),

- restreindre le projet RHP aux axes et nœuds les plus denses du réseau ferré (Île-de-France, nœud lyonnais, Marseille – Vintimille, LGV anciennes, etc.), les CPER devant être suffisamment concentrés sur les sites denses afin de pouvoir soutenir financièrement la modernisation au niveau souhaitable,
- apporter une aide financière au *retrofit* des locomotives pour le transport du fret,
- recourir aussi souvent que possible à l'externalisation (postes informatiques d'aiguillage, *retrofit*, etc.),
- soutenir le projet par un fort engagement politique et administratif de l'État.

Liste des recommandations

Pages

L'Administration doit désormais refuser toute dérogation à l'obligation d'équiper les matériels roulants en ETCS.	30
Le retrofit des matériels roulants doit être à la charge des détenteurs, sous réserve d'une aide de l'État et de l'Union européenne pour le transport du fret. SNCF Réseau pourrait coordonner la gestion des subventions publiques.	30
Le retrofit doit pouvoir être fait aussi bien par SNCF Mobilités que par l'industrie.	30
Le développement en France du projet RHP doit partout prendre en compte le déploiement futur de l'Automatic Train Operation (ATO).	32
Le développement du projet RHP doit comporter un Traffic Management System (TMS) intelligent, c'est-à-dire un système global de gestion des sillons et des circulations qui offre aux régulateurs comme aux entreprises ferroviaires les outils informatiques les plus simples, les plus réactifs et les plus performants.	32
En tant que projet à long terme, le projet RHP doit anticiper l'arrivée des innovations de rupture qui sont prévisibles. En priorité, SNCF Réseau doit s'attacher à développer des solutions de fluidification des circulations dans les nœuds denses.	35
Le projet RHP ne doit porter que sur la modernisation des lignes et nœuds denses (notamment en Île-de-France), des plus grands corridors européens et des LGV.	38
Les études économiques et financières à mener par SNCF Réseau pour le projet RHP doivent s'appuyer sur des scénarios gradués répondant aux niveaux de service convenus avec les parties prenantes, et intégrer les évolutions technologiques prévisibles sur deux périodes de vingt et trente ans.	42
Le ministère des transports doit soutenir publiquement le projet RHP et le schéma que SNCF Réseau préparera en 2019. Il doit superviser l'étude du schéma. Pour cela, il doit présider une instance de travail et de concertation avec les principales parties prenantes : SNCF Réseau, Régions de France et Union des transports publics et ferroviaires (UTP) notamment.	50

Introduction

1.1. Il est incontestable que SNCF Réseau offre une insuffisante qualité de service.

Dans les dix dernières années, de nombreux rapports ont été publiés sur les services offerts par l'infrastructure ferroviaire en France. Tous ou presque s'inquiètent du vieillissement continu des installations, et de la mauvaise qualité des services¹².

Par exemple, voici le résultat le plus récent (2017) de l'indice RPI (*European Railway Performance Index*) fondé et mesuré par le cabinet *Boston Consulting Group* (BCG).

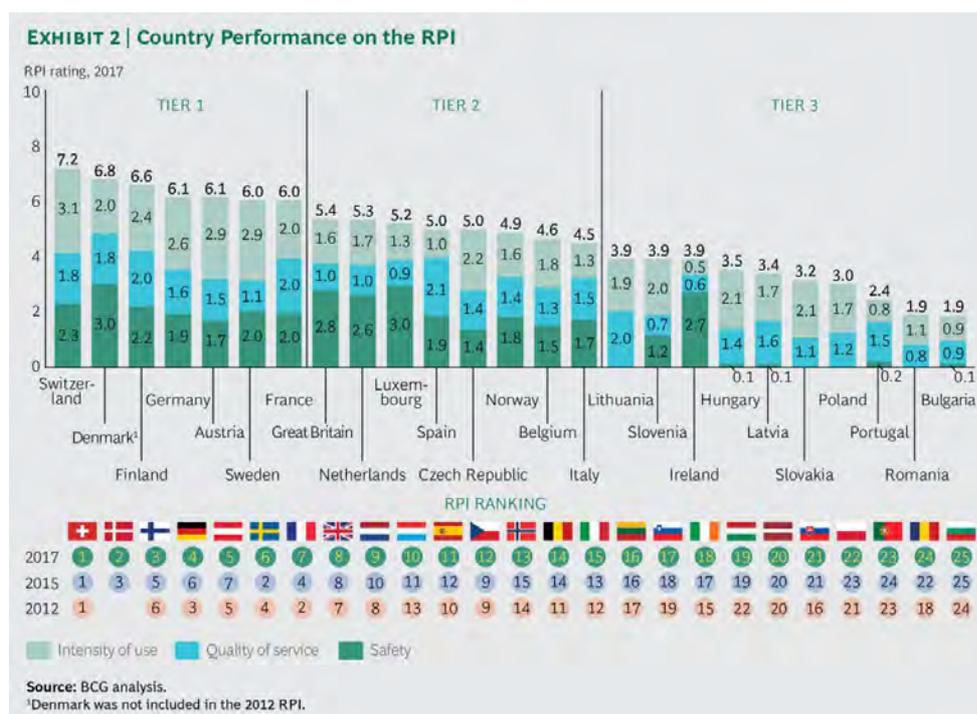


Illustration 1: rang des différents pays européens au regard de l'indice RPI du cabinet BCG (source: BCG en avril 2017)

L'indice RPI intègre trois critères : intensité de l'utilisation de l'infrastructure ferroviaire, qualité de service et sécurité. **La France a reculé entre 2012 et 2017**, passant du 2^e rang au 7^e rang. Le réseau suisse reste de loin le meilleur.

S'agissant de la ponctualité globale (pour toutes activités ferroviaires de voyageurs), l'*Autorité de la qualité de service dans les transports* (AQST) place, en 2014, **la France au 11^e rang seulement** parmi les treize pays passés en revue : Japon, Suisse,

¹ Par exemple, l'« *Audit sur l'état du réseau ferré national – Rapport de la mission* » d'Yves Putallaz, remis à SNCF Réseau le 12 mars 2018, affirme : « [Les exemples de l'Allemagne, de la Belgique, de l'Italie et de la Suisse] montrent que, malgré son excellence industrielle en matière de signalisation et d'automatismes ferroviaires, la France a pris un sérieux retard dans le domaine de la conduite de l'exploitation du réseau ferré national. ».

² Le rapport (non publié) de l'Inspection générale des finances et du CGEDD de 2015 (« *Dimensionnement des effectifs et productivité de SNCF Réseau* ») affirme que selon le rapport annuel de sécurité de la SNCF, les « indicateurs relevant de l'état de l'infrastructure s'améliorent presque tous en 2014 par rapport à 2009 [à l'exception notable des] pannes de signalisation de gravité moyenne ou majeure ».

Pays-Bas, Autriche, Allemagne, Danemark, Espagne, Suède, Pologne, Grande-Bretagne, France, Italie et Belgique³.

Troisième et dernier exemple : la mauvaise qualité des circulations s'agissant des convois de fret. Lors de la séance du 6 février 2018 de la conférence « *Sillons Fret* » présidée par SNCF Réseau avec les entreprises ferroviaires (EF), SNCF Réseau a expliqué que l'indicateur des minutes perdues aux cent kilomètres se dégradait régulièrement depuis 2014. Cela est vrai tant au regard des causes attribuées aux EF que de celles relevant du gestionnaire de l'infrastructure⁴.

Cette mauvaise qualité de service est le sujet de reproches de plus en plus vifs envers SNCF Réseau.

1.2. D'importants investissements d'infrastructure sont nécessaires...

Le mauvais état de nombreuses lignes du réseau ferré national, mal entretenues durant des dizaines d'années, a longtemps été au premier rang des facteurs expliquant la mauvaise qualité de service. La situation étant d'autant plus insatisfaisante que, dans le même temps, le parc des matériels roulants s'est rajeuni du fait du financement apporté par les régions⁵. C'est le cas surtout depuis 2001, quand elles sont devenues autorités organisatrices des transports ferroviaires d'intérêt régional (AOT des TER).

Après la publication du rapport Rivier en septembre 2005⁶, de lourds travaux ont été engagés en vue de remettre en état les infrastructures. Malgré la forte augmentation des budgets, l'effort de rattrapage est loin d'être terminé, particulièrement en Île-de-France.

Mais si disposer d'infrastructures et de matériels en bon état est nécessaire, la qualité du service de transport dépend aussi de leur bonne utilisation.

1.3. ... mais fiabiliser l'exploitation est primordial.

L'exploitation du réseau ferré couvre toutes les tâches de gestion prévisionnelle et opérationnelle de l'occupation des voies et installations du réseau. Que ce soit par les trains des EF qui y circulent ou y stationnent, ou par le gestionnaire d'infrastructure (GI) lui-même, en particulier pour y exécuter ses travaux⁷.

Une exploitation efficace et fiable permet de tirer le meilleur parti des infrastructures en augmentant le nombre de trains pouvant y circuler, en diminuant les temps d'attente et en garantissant les temps de parcours. Les actifs ferroviaires étant très onéreux, il est

³ cf. annexe n° 8

⁴ cf. page 17 du document de SNCF Réseau ayant servi au support de la séance du 6 février 2018 de la conférence « *Sillons Fret* »

⁵ Les régions ont été à l'initiative de l'achat en grandes séries de matériels modernes (X-TER, A-TER, TER 2 N NG, AGC, Regiolis, Regio 2N), suivies plus récemment par Île-de-France Mobilités (NAT, RER NG). Ces matériels modernes et puissants ont parfois contribué à faire apparaître sous une lumière crue les insuffisances de l'infrastructure.

⁶ « *Audit sur l'état du réseau ferré national* », Robert Rivier et Yves Putallaz, Paris, septembre 2015

⁷ Le champ et la portée de l'exploitation dépendent de la nature des installations et de la destination de la ligne. Dans la configuration simple de voies pouvant être circulées en *marche à vue*, dont les appareils de voie sont directement manoeuvrés ou commandés par le conducteur de l'entreprise ferroviaire (tramways urbains, voies uniques à trafic réduit), le GI se limite à la seule gestion de l'infrastructure *stricto sensu*. À l'opposé, dans le cas du pilotage automatique tel qu'il est mis en oeuvre sur des lignes de métro, le GI accomplit les tâches de conduite des trains, et la notion même d'entreprise ferroviaire s'estompe.

indispensable, notamment lorsqu'ils sont financés par la collectivité publique, qu'ils soient exploités le mieux possible.

Le *produit* du GI, c'est le sillon⁸. Comme il est immatériel et périssable, sa valeur repose d'abord sur la qualité de sa conception. L'entreprise ferroviaire doit pouvoir aisément faire circuler son convoi dans les limites du sillon. Mais elle dépend aussi de la qualité de tout le graphique de circulation (assurer la robustesse, traiter convenablement les perturbations), et de la capacité à le réaliser (faire circuler les trains selon le graphique).

Or, différentes analyses, notamment dans le rapport sur la robustesse de juillet 2017⁹, mettent en évidence de nombreuses insuffisances de l'exploitation en France. Elles regardent la conception de l'exploitation (règles, méthodes et pratiques) comme sa mise en œuvre (la maîtrise opérationnelle).

L'exploitation ferroviaire française pâtit en France d'un retard inquiétant quant à l'utilisation des techniques d'informatique et d'automatisation. Partout dans le monde, de nombreux exemples montrent le grand intérêt **d'automatiser autant que faire se peut l'exploitation**. C'est bien dans cet esprit que SNCF Réseau s'est engagé dans son projet de transformation de l'exploitation appelé RHP.

1.4. Qu'est-ce que l'exploitation ferroviaire ?

Tout gestionnaire d'infrastructure ferroviaire accomplit deux tâches principales :

- **Orienter les trains**. Historiquement confiée à des aiguilleurs au sol, cette tâche est exécutée grâce à des postes d'enclenchement (ou postes d'aiguillage). Ils contrôlent les appareils de voie d'une zone géographique. Ils peuvent former, par la manœuvre des aiguilles, des itinéraires prédéfinis. Avant toute manœuvre d'aiguille, un enclenchement assure l'absence de conditions incompatibles avec la sécurité. La signalisation informe automatiquement le conducteur de train que l'itinéraire est ouvert ou non.
- **Maintenir l'espacement entre trains**. Une voie ferrée est découpée en cantons¹⁰ (blocks). Dans un canton, un seul train peut circuler. À chaque entrée de canton, un signal indique au conducteur son état d'occupation. Sur les lignes principales, ce dispositif est automatique. La présence d'un train dans le canton est automatiquement détectée, et fixe l'état du signal.

La **détection** y est faite par des circuits de voie ou des compteurs d'essieux. Ces dispositifs permettent aussi de garantir qu'un train sort en entier d'un canton, c'est-à-dire sans laisser derrière lui une voiture ou un wagon. C'est la vérification **d'intégrité**.

Ces tâches sont de grande importance pour la sécurité des circulations ferroviaires. Transmettant des ordres impératifs au conducteur, la signalisation doit être d'une fiabilité absolue, du moins lorsqu'il y a risque d'accident grave. Cette exigence est au cœur de la conception, la fabrication et l'exploitation des systèmes.

⁸ Pour les besoins du rapport, la mission du CGEDD regroupe sous ce terme non seulement les sillons (commerciaux ou non), mais l'ensemble des capacités (plages-travaux) que le GI se réserve dans le graphique.

⁹ « À la reconquête de la robustesse des services ferroviaires », rapport achevé en juillet 2017 par Jacques Damas, Noël de Saint-Pulgent, Bruno Gazeau, Vince Lucas, Yves Putallaz, Yves Ramette et Alain Thauvette.

¹⁰ La longueur des cantons varie en fonction de la fréquentation de la ligne. En signalisation ancienne, la longueur d'un canton doit permettre l'arrêt des trains, donc être d'une longueur de 1 500 mètres au minimum. Elle est plus courte pour des trains courts circulant à vitesse plus petite, en Île-de-France par exemple, plus longue lorsque la vitesse est élevée ou, par économie, le trafic faible.

Pour hausser encore le niveau de sécurité, de plus en plus de voies ferrées sont équipées de systèmes de sécurité à dessein de **contrôler le bon respect de la signalisation par les conducteurs**. Si un train franchit un signal fermé ou roule trop vite, l'infrastructure le force à s'arrêter ou à ralentir. On recourt pour cela à des systèmes dits ATP (*Automatic Train Protection*). Constituant une **boucle de rattrapage**, ces systèmes ne sont pas soumis aux mêmes exigences de fiabilité que la signalisation.

Dans une acception large, l'ensemble des installations et équipements, y compris les actionneurs de terrain (moteurs d'aiguille, pédales de passage à niveau, etc.), font partie de ce qu'on appelle la **signalisation**.

Les lignes les plus importantes sont **régulées**. Outre la gestion de la circulation de chaque train par les agents-circulation des postes, des régulateurs ayant une vue d'ensemble gèrent, d'un centre opérationnel, la fluidité du trafic. Ils prennent des mesures touchant à l'organisation des itinéraires et à l'ordonnancement des circulations (modification des sillons), en liaison avec les EF.

Le GI doit encore accomplir les tâches de répartition des sillons, c'est-à-dire dresser les graphiques de circulation.

1.5. L'intérêt de l'automatisation n'est pas contestable.

Comme l'illustre le nouvel élan donné récemment à l'ERTMS (cf. annexe n° 4), il y a désormais consensus¹¹ en Europe sur l'évolution technique vers l'automatisation. Pour les transports ferroviaires comme pour les transports urbains.

Les technologies du numérique et de la radio permettent des transmissions sans contact d'informations fiabilisées à un haut niveau de sécurité, par la possibilité de redondance et de codage de sécurité. C'est là une opportunité exceptionnelle de concevoir une nouvelle signalisation¹².

Dans le cadre de son projet *Nouvel'R*, SNCF Réseau souhaite s'engager dans une démarche pour un *Réseau à haute performance* (RHP) en s'appuyant sur la mutation des technologies des systèmes d'exploitation ferroviaire. Cette mutation est considérée comme structurante. Mais le projet RHP ne pourra être exécuté que s'il s'inscrit dans un bon *schéma* d'ensemble sur le plan économique et industriel. Car les difficultés qu'affrontent partout en Europe les gestionnaires d'infrastructure ferroviaire regardent le **rythme** des modernisations. Elles sont onéreuses et obligent à des transformations importantes des métiers. C'est pour la préparation d'un tel *schéma* par SNCF Réseau, et afin que l'État puisse l'accompagner, qu'il a été demandé, par lettre ministérielle du 4 juin 2018, une mission du CGEDD.

C'est l'objet du présent rapport. Le chapitre 2 établira un diagnostic des projets de modernisation en cours au sein de SNCF Réseau. Le chapitre 3 analysera le projet RHP, en s'appuyant sur les démarches similaires qui sont engagées dans les autres pays. Le chapitre 4 présentera les sujets qui, échappant à la compétence propre du

¹¹ Cette vision de l'avenir est désormais celle de la SNCF : « *L'exploitation sera bouleversée par l'utilisation des automatismes, dans les trains comme dans la supervision, et par l'intégration d'intelligence artificielle dans des algorithmes de prise de décision exploitant en temps réel les données transmises par les éléments interconnectés du système.* » (« *Une vision du système ferroviaire du futur* », Tech4Rail, SNCF, avril 2018).

¹² cf. déclaration de Patrick Jeantet (le président de SNCF Réseau) le 23 mai 2018 lors du petit déjeuner organisé par TDIE et TI&M :

« *La conception du système de signalisation actuel date de la première moitié du vingtième siècle. Nous vivons un basculement technologique aussi important que celui du TGV à la fin des années 1970 : le contrôle commande des trains – tel que nous l'installons sur EOLE ou à travers l'ERTMS niveau 2 et niveau 3 qui arrive bientôt – vont permettre sur une même infrastructure d'automatiser nos trains.* »

GI, nécessiteraient une intervention de l'État, ainsi que les points de vigilance relatifs à la conception et l'application du futur *schéma* ; il proposera enfin une démarche pour entreprendre ledit *schéma*.

2. Les actuels projets de modernisation de l'exploitation

2.1. Selon SNCF Réseau, le programme de renouvellement est exécuté trop lentement pour enrayer le vieillissement des postes.

En matière de signalisation, le programme de renouvellement de SNCF Réseau concerne les postes d'enclenchement et les blocks d'espacement. Il s'agit, d'une part, de remplacer des installations en fin de vie, d'autre part d'investir en anticipation pour permettre de déployer le projet *Commande centralisée du réseau* (CCR), dont la technologie n'est compatible qu'avec des postes modernes, et l'ERTMS, qui requiert en plus des blocks modernes. Vers la fin de 2017, SNCF Réseau a approuvé une modification de sa stratégie technologique visant à la modernisation plutôt qu'au simple renouvellement¹³ ; le GI a allongé les durées de vie des postes et blocks pour pouvoir repousser la moitié environ des opérations de modernisation.

Comme l'affirme l'audit de mars 2018 sur l'état du réseau ferré national¹⁴ :

« [...] la modernisation de ces équipements constitue une condition sine qua non à l'amélioration de la performance de l'exploitation du réseau, tant sur les plans de la fiabilité et de la robustesse que sur celui de l'économie ».

Mais on constate que, soumis à un plafond de dépenses annuelles de renouvellement par le contrat pluriannuel 2017-2026¹⁵, SNCF Réseau n'a prévu d'affecter aux équipements d'exploitation qu'un montant moyen d'environ 400 millions d'euros par an ; il donne *de facto* priorité aux travaux de voie. Dès 2020, ce montant ne suffira pas, loin s'en faut, à satisfaire les besoins : ils sont de l'ordre du double¹⁶, entre 750 et 865 millions d'euros.

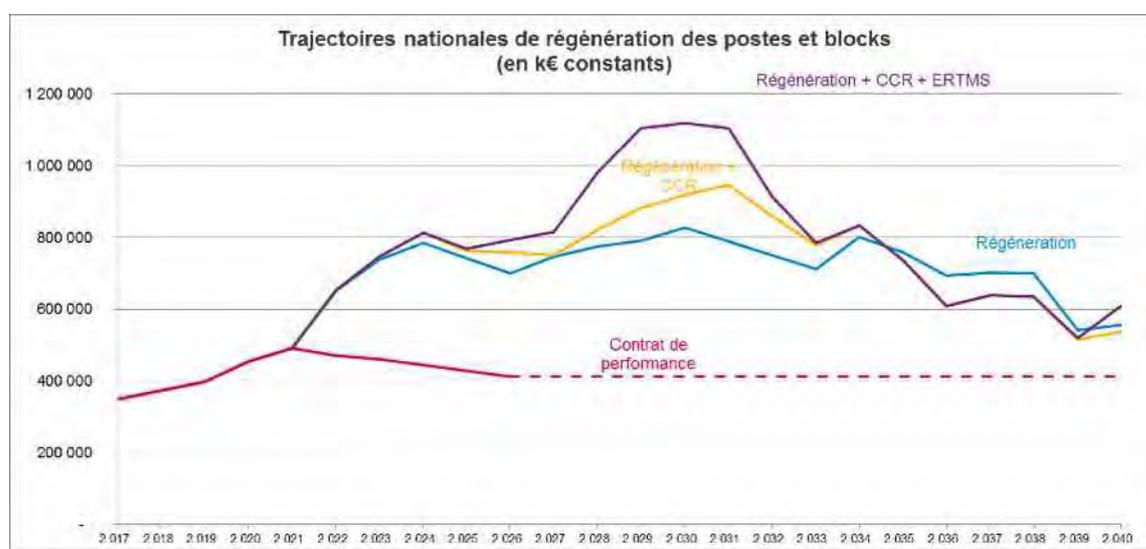


Illustration 2: budgets annuels de renouvellement avec ou sans les projets CCR et ETCS (source : SNCF Réseau en octobre 2017)

¹³ Un nouveau type de poste informatique le PAI NG3 est en cours de définition dans le cadre d'un partenariat industriel.

¹⁴ rapport sous la direction d'Yves Putallaz (IMDM) du 12 mars 2018

¹⁵ contrat prescrit par l'article L2111-10 du code des transports, signé le 20 avril 2017, appelé souvent *contrat de performance*

¹⁶ Selon SNCF Réseau, l'enveloppe de renouvellement pour la signalisation progresserait jusqu'à 500 millions d'euros en 2021, puis diminuerait pour se stabiliser vers 400 millions en 2026. Il lui manquerait 350 millions d'euros par an entre 2022 et 2035 pour permettre de retrouver vers 2039 un âge normal des postes et blocks.

La mission du CGEDD rappelle que, conformément aux dispositions du *contrat de performance*, SNCF Réseau ne financera normalement aucune opération de renouvellement des postes et blocks sur les petites lignes ferroviaires du réseau de rang 3 (lignes UIC 7, 8 et 9). Mais SNCF Réseau n'a pas distingué, en matière de signalisation, les lignes dites intermédiaires de rang 2 (*grosso modo* les lignes UIC 5 et 6). Pourtant, selon sa stratégie d'actifs, toute modernisation de l'infrastructure de telles lignes doit être soumise au « *modèle économique* »¹⁷ de chaque ligne, au regard notamment de ses perspectives de trafic à long terme.



Illustration 3: stratégie d'actifs de SNCF Réseau (source : SNCF Réseau)

La mission du CGEDD propose que SNCF Réseau intègre le renouvellement de la signalisation dans la stratégie d'axes retenue pour l'infrastructure ferroviaire, afin notamment de mettre en cohérence les durées de vie prises en compte. Il serait peu opportun de moderniser la signalisation de lignes qui, en raison notamment du développement des nouvelles mobilités, ne seraient pas considérées comme pérennes.

La recherche d'économies dans les investissements de renouvellement est impérative. La mise au point d'un *block numérique*, prêt à être installé dès 2019 ou 2020¹⁸, coûtant 15 % de moins, de plus compatible avec l'ETCS, est un bon exemple à suivre.

¹⁷ L'audit du 12 mars 2018 a recommandé de moderniser le *Business Case* des lignes du réseau de rang 2, c'est-à-dire à peu de choses près les 6 500 km de lignes UIC 5 et 6, afin d'en améliorer le bilan économique.

¹⁸ cf. note de SNCF Réseau du 30 novembre 2017 sur les programmes de renouvellement (« *Politique de régénération des blocks revisitée* »)

2.2. Le projet de *Commande centralisée du Réseau (CCR)* s'exécute bien plus lentement qu'il n'était prévu en 2010 quand il a été engagé.

En 2010, SNCF Réseau a commencé à préparer l'exécution du projet appelé *Commande centralisée du réseau (CCR)*. Il a fait l'objet d'une approbation ministérielle en février 2011. Le projet consiste à regrouper la commande des 1 500 principaux postes d'aiguillage en seize centres régionaux (dans des *salles CCR*). Lesdites salles accueilleront aussi les régulateurs.

Ce programme de réorganisation vise à :

- réduire les coûts d'exploitation, en diminuant le nombre des agents de circulation travaillant à la commande des postes d'enclenchement,
- améliorer la gestion des circulations par le partage des informations provenant du terrain entre les agents de circulation et les régulateurs sur de grands rayons d'action, permettant des décisions plus rapides et plus efficaces.

CCR et Mistral

L'outil informatique de commande-contrôle est l'interface de type Mistral (*Modules informatiques de signalisation, de transmission et d'alarmes*) mise en service pour la première fois à Marseille, en 2001, à l'ouverture de la LGV Méditerranée. Mistral a été développé pour la SNCF par la société Atos. Chaque incorporation de secteur de circulation dans une *salle CCR* exige un reparamétrage du système Mistral de ladite salle ; c'est une tâche accomplie par Atos. En 2014, SNCF Réseau s'est engagé dans le développement, encore confié à Atos, d'une évolution majeure dite Mistral NG¹⁹. L'intention est de tirer parti des dernières technologies pour diminuer les coûts (- 30 %), tout en permettant une meilleure intégration avec les outils de gestion des circulations.

En 2011, il était prévu que le projet CRR soit déployé en 2032 sur 60 % du réseau principal : 150 secteurs de circulation sur 256, nombres revus depuis lors à 165 sur 270. La dépense serait de 4,65 milliards d'euros aux conditions économiques de 2005, soit 5,5 milliards d'euros aux conditions actuelles ; 40 % seulement de dépenses seraient externes. À ce jour, SNCF Réseau estime qu'au rythme actuel et avec les ressources actuelles, l'objectif ne sera atteint qu'en 2052. À la fin de 2017, 32 secteurs de circulation seulement étaient équipés.

L'important retard a pour cause l'impossibilité de renouveler rapidement les postes d'enclenchement à la technologie trop ancienne pour pouvoir être télécommandés. Cela tient aux moyens financiers, mais aussi à la disponibilité de main-d'œuvre spécialisée. 70 % des coûts d'investissement portent sur la modification de la signalisation *en campagne*, des travaux que SNCF Réseau réalise le plus souvent en interne. Une importante²⁰ part des gains de productivité initialement attendus du projet CCR²¹ a déjà été engrangée au profit d'autres projets de réorganisation. Elle ne peut plus être prise en compte dans le calcul de la *valeur actuelle nette (VAN)* pour entreprendre la télécommande d'un secteur.

Le périmètre fonctionnel du projet change encore. En Île-de France, au lieu d'une salle unique, il est désormais projeté quatre CCU²² (*Centres de commande unifiés*) avec la RATP. Ils regrouperont aussi les fonctions de supervision et de commande des équipements d'alimentation électrique, selon des fuseaux partageant la même section

¹⁹ La principale amélioration apportée par Mistral NG est de pouvoir communiquer avec la chaîne de production des sillons. Il pourra prendre en compte immédiatement les modifications de sillons faites par les régulateurs.

²⁰ Selon SNCF Réseau, la diminution envisageable d'effectifs ne porterait plus que sur 1 500 postes de travail.

²¹ effectif d'agents de circulation et régulateurs ramené à 3 000 agents en 2032, pour une population à l'origine de 5 700

centrale. En province, le périmètre d'action de plusieurs salles, voire leur existence même, reste à confirmer.

Le projet CCR est en cours de réexamen. Son déploiement doit être réadapté aux priorités d'exploitation, en cohérence avec le projet de modernisation de la gestion opérationnelle des circulations. La mission du CGEDD n'a pas eu connaissance d'un bilan économique des investissements déjà réalisés. Les économies attendues, notamment au regard des dépenses de personnel, ont-elles été obtenues ? Il importe que SNCF Réseau puisse vite présenter à l'État des résultats sûrs à ce sujet, et qu'il lui remette un rapport complet sur le *retour d'expérience*.

L'illustration n° 4 porte sur le retard du projet CCR.

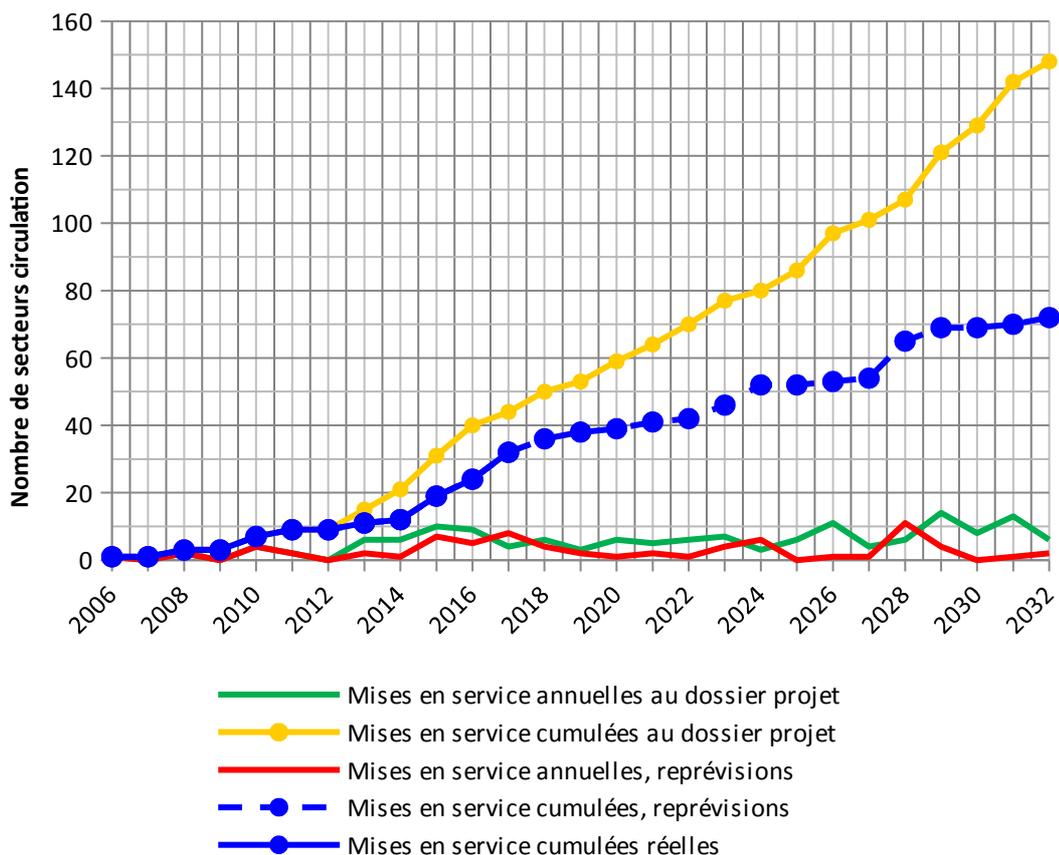


Illustration 4: exécution du projet CCR (source : SNCF Réseau en janvier 2018)

2.3. Le Système industriel de production horaire (SIPH) prend du retard.

SNCF Réseau prépare l'horaire de service annuel et alloue les sillons²³ en utilisant un outil ancien (THOR). L'outil actuel est peu flexible, n'est pas conçu pour le traitement de demandes venant de *candidats autorisés* de plus en plus nombreux et gère mal la réservation des capacités nécessaires pour les travaux. Faute de savoir prendre en compte l'impact du programme de 2008 sur le renouvellement de l'infrastructure,

²² C'est à savoir : (1) le centre de Pantin pour les banlieues de Paris-Est et de Paris-Saint-Lazare et la ligne E du RER, (2) le centre pour la banlieue de Paris-Nord et de Paris-Sud-Est et la ligne B du RER, (3) le centre pour la banlieue de Paris-Montparnasse et la ligne C du RER, (4) le centre de la RATP pour la ligne A du RER.

²³ plus de six millions de sillons par an

SNCF Réseau n'est pas capable aujourd'hui d'étudier toutes les demandes dans les délais prescrits par le *document de référence du réseau* (DRR). Ainsi l'habitude a-t-elle été prise de délivrer des *sillons précaires* qui peuvent être annulés avec un préavis bien trop court.

Les EF de fret ont souvent besoin de sillons de long parcours, notamment la nuit. Leurs demandes changent souvent au gré des chargeurs. Cette activité économique souffre beaucoup de la mauvaise répartition des capacités. Les entreprises de transport cherchent à obtenir satisfaction par des demandes répétées de *sillons de dernière* minute, dans la semaine avant la circulation souhaitée. Ce faisant, elles engorgent encore plus la production horaire²⁴.

En 2013, une nouvelle *crise des sillons* a conduit SNCF Réseau à annoncer, sous l'égide du ministre des transports, le remplacement de l'outil de production horaire par un *Système industriel de production des horaires* (SIPH), gérant l'ensemble des capacités horaires. À la fin de 2014, SNCF Réseau a choisi un groupement de développeurs coordonné par la société Steria. Il a fait choix de l'outil TPS²⁵ de la société Hacon, qui était déjà utilisé pour des études depuis 2009. Le développement de SIPH est le cœur d'un programme de transformation dit « *Plan industriel de la chaîne capacitaire* » ; il réformera tous les métiers de la production horaire.

L'importance de ce programme est traduit par un jalon industriel dans le *contrat de performance*. Il y est demandé que « *l'intégralité des horaires 2020* » soit construite avec SIPH. L'objectif ne sera pas atteint. En septembre 2018, le planning de déploiement a été reporté au service annuel de 2021. L'application devrait être ouverte aux clients de SNCF Réseau en décembre 2019. En 2018, seule l'étape préliminaire sur la *trame de deux heures* du service 2021 sera engagée dans SIPH. Le projet ne traitera pas, à ce stade, le sujet de l'affectation des voies en gares, pourtant si important pour la qualité de service.

La mission du CGEDD ne connaît pas précisément les raisons du report. Elle ne peut juger s'il a pour cause le processus même d'allocation des capacités, comme le supposaient les experts du rapport sur la robustesse de juillet 2017.

En tout état de cause, ce retard est regrettable. Bien sûr pour la production des sillons, mais aussi pour la gestion opérationnelle des circulations. L'allocation des capacités permet de dresser le plan de transport qui alimente, avant 17 h la veille de chaque jour, le système de gestion des circulations. Avec les outils actuels, l'alimentation ne peut être suffisamment automatisée.

2.4. La Modernisation de la gestion opérationnelle des circulations (MGOC) est un projet dont la réalisation a commencé en 2017 et qui s'achèverait en 2025 au plus tard.

En 2016, prenant acte du trop lent déploiement du projet CCR, SNCF Réseau a décidé, après un *benchmark* européen, de s'engager dans la modernisation de la régulation des circulations, permettant « *un saut de performance* » indépendant du projet CCR. Le projet est appelé MGOC (*Modernisation de la gestion des circulations ferroviaires*) ; le système d'information lui-même est appelé GOC 2.0.

Il s'agit de fournir aux régulateurs des outils d'aide à la décision (alarmes, recalculs, simulations) pour leurs actions de gestion. L'objectif est d'abandonner une régulation segmentée selon les organisations territoriales pour s'adapter aux objectifs d'acheminement des EF.

²⁴ cf rapport du CGEDD (2018) intitulé « *Qualité de service offerte par le gestionnaire d'infrastructures aux opérateurs du fret ferroviaire* »

²⁵ *Train Planning System*

L'outil nouveau, GOC 2.0, permettra une régulation du trajet de bout en bout. Il prendra en compte les contraintes des EF : arrêts en gare et relais. En cas de modification envers l'ordonnancement des circulations, une itération avec les EF sera faite. Les EF pourront avoir accès aux données et, dans l'outil lui-même, simuler et préparer elles-mêmes leurs demandes de sillons : sillons modifiés et sillons de dernière minute. Afin d'être robustes, les sillons prendront en compte les données en gare, les itinéraires dans les nœuds, les voies locales.

L'outil s'appuiera sur une localisation précise des trains²⁶²⁷. Il prendra en compte la programmation des travaux.

GOC 2.0 est développé sur la base du progiciel Iconis d'Alstom. Alstom y travaille en plateau-projet avec la SNCF depuis avril 2017. L'ensemble des spécifications et du développement devrait être achevé en décembre 2019. À cette échéance s'achèverait aussi la définition des nouvelles procédures et nouveaux métiers.

Après un pilote technique au troisième trimestre 2019, une première expérimentation du projet MGOC regardera, à partir de juillet 2020, l'axe Paris – Lyon - Marseille (« tête de série »). S'en suivra un déploiement par vagues successives sur l'ensemble des lignes régulées²⁸ jusqu'en 2025.

Le coût du programme MGOC serait de 125 millions d'euros. Ce montant comprend 50 millions pour l'outil informatique : développement et maintien en condition opérationnelle jusqu'en 2032.

S'il satisfaisait bien toute l'attente de SNCF Réseau et des EF, le système MGOC compléterait heureusement les outils dont dispose le gestionnaire d'infrastructure dans son système général de gestion des trafics (*Traffic Management System* ou TMS).

Mais attention ! Même après la réalisation du projet MGOC, **SNCF Réseau a encore beaucoup à faire pour que sa gestion générale des circulations rejoigne le niveau des meilleurs en Europe et dans le monde²⁹**. La comparaison internationale démontre que d'autres pays ont des outils bien plus puissants. **SNCF Réseau est encore très loin de pouvoir appréhender dans un seul système intelligent toute la chaîne industrielle et commerciale, celle qui va de la commande d'un sillon-jour par une EF ou d'une plage-travaux par un mainteneur jusqu'à l'arrivée du train à destination.**

2.5. Jusqu'à présent le déploiement d'ERTMS a été conduit par les seules exigences réglementaires.

L'annexe n° 4 rappelle brièvement l'histoire technique et réglementaire de l'ERTMS (*European Rail Traffic Management System*) en France et en Europe. C'est le système interopérable qui remplacera partout en Europe les systèmes anciens de signalisation pour l'enclenchement des aiguilles et l'espacement des convois.

Notamment parce que les principales lignes du réseau ont été équipées d'un système ATP (*Automatic Train Protection*) récent (comme le KVB³⁰ ou la TVM³¹), le déploiement

²⁶ projet X16

²⁷ Les données de cette localisation sont autres que celles qui regardent l'occupation d'un canton et qui sont de nature sécuritaire.

²⁸ Les lignes sans régulation sont les lignes à faible circulation.

²⁹ Par exemple, en avance sur SNCF Réseau, DB Netz a commencé à déployer en juillet 2018 un sous-système de DAS (*Driver Advisory System*) pour transmettre aux conducteurs des trains ses recommandations sur la consommation d'énergie.

³⁰ contrôle de vitesse par balises

³¹ transmission voie-machine

en France du système européen de signalisation ETCS, composante de l'ERTMS, a été jusqu'à présent conduit par les exigences de la réglementation européenne, plus que par volonté propre du GI.

L'équipement des LGV en ERTMS

Ce sont presque exclusivement les lignes à grande vitesse, soumises à l'obligation d'équipement, qui ont été équipées de l'ETCS. Et presque toujours, cela a été accompli en double équipement, c'est-à-dire en superposition du système national de classe B (TVM ou KVB).

L'ETCS est maintenant installé sur les LGV Est européenne (406 km), Rhin-Rhône (138 km), Tours - Bordeaux (340 km), Le Mans - Rennes (180 km) et Nîmes - Montpellier (70 km). C'est le cas aussi sur les 25 kilomètres de la partie française de la section internationale Perpignan - Figueras. En général, c'est le niveau 2 de l'ETCS qui a été retenu. Toutefois, le contournement de Nîmes et de Montpellier et le contournement du Mans sont équipés du seul niveau 1, afin d'y faire circuler facilement les convois de fret.

Parfois, l'équipement en ETCS n'a pas été immédiatement mis en service. Sur la LGV Est européenne, ouverte en 2007, l'ETCS n'a été mis en service qu'en décembre 2014³², après que la version installée a été mise à jour en 2013 en *Baseline 2*. Il ne l'est pas encore sur la LGV Rhin-Rhône. De même, si l'ETCS au niveau 2 est bien installé sur la liaison Perpignan - Figueras, c'est dans une version ancienne ; seul le niveau 1 y est opérationnel.

En raison du double équipement, les circulations sous système national restent les plus nombreuses sur les lignes équipées de l'ETCS, sauf sur la LGV Est européenne et, bien sûr, sur la section Perpignan – Figueras où c'est le seul système de signalisation.

Sur la ligne à grande vitesse Paris - Lyon, le projet HPGVSE (*Haute Performance Grande Vitesse Sud-Est*), approuvé par le conseil d'administration de SNCF Réseau en février 2018³³, sera le premier exemple d'installation de l'ETCS sur une LGV ancienne.

Dans le réseau ancien, un seul projet. Quarante kilomètres des lignes de Longuyon et Mont-Saint-Martin jusqu'aux frontières de la Belgique et du Luxembourg ont reçu l'*autorisation de mise en exploitation commerciale* (AMEC) en 2015 et 2016. Leur équipement en ETCS est de niveau 1 ; il se superpose à la signalisation ancienne.

Requis par le règlement (UE) 2016/919 du 27 mai 2016, le plan de déploiement national³⁴ du 27 juin 2017 prévoit le déploiement avant 2020 de l'ERTMS au niveau 1 (*Full Supervision*) sur les 427 kilomètres de lignes entre Longuyon et Bâle, sur la section française des corridors multimodaux Mer du Nord – Méditerranée, et le déploiement sur la ligne Gisors – Serqueux (corridor Atlantique) au niveau 2 en superposition à la signalisation actuelle. Sans surprise, **la programmation du plan français, qui se limite à 2023 et ne traite pas 5 800 km de ligne, a été jugée « incomplète » par la Commission européenne**³⁵.

Dans cette notification de l'été 2017, les autorités françaises ont précisé que le contenu du plan au-delà de 2023 serait déterminé sur la base d'études ayant vocation à identifier les conditions d'un « *déploiement réaliste, c'est-à-dire économiquement équilibré* ».

³² L'*autorisation de mise en exploitation commerciale* (AMEC) n'a été délivrée par l'EPSF que le 17 décembre 2013.

³³ puis approuvé par décision ministérielle en octobre 2018

³⁴ plan du 27 juin 2017, notifié le 5 juillet 2017

³⁵ « *Synthesis report on NIP* », version 1.1, 2 mars 2018

2.6. La modernisation de l'exploitation est urgente en Île-de-France, mais elle se prépare avec lenteur.

2.6.1. Le réseau ferré d'Île-de-France est très dense, et doit être modernisé spécifiquement.

Le réseau ferroviaire suburbain d'Île-de-France est bien plus densément utilisé que le reste du réseau ferré national. Sur 1 300 kilomètres, il fait circuler presque la moitié des trains (6 500 sur environ 15 000 trains), supporte un trafic très élevé (de 300 à 500 trains par jour) et écoule des flux très importants de voyageurs (plus de 3,5 millions par jour). Il assure souvent un service similaire à celui d'un métro à grand gabarit : des rames de grande capacité (1 000 places et plus) circulant à haute fréquence sur une infrastructure qui lui est en général dédiée. Sur les tronçons les plus chargés (comme la ligne B du RER), les flux atteignent 700 000 passagers quotidiens et plus.

Sur les axes diamétraux, le transport ferroviaire atteint des parts de marché très hautes. Il est vital pour l'économie régionale, voire nationale.

Sous l'effet d'une croissance du trafic à la fois forte et ininterrompue, les enjeux de capacité sont devenus de grande importance.

2.6.1.1. Le projet NExTEO prépare la révolution technologique.

Dès 2009, à l'occasion du prolongement du RER E à l'ouest, SNCF Mobilités et SNCF Réseau se sont engagés dans le développement du système NExTEO. C'est un système de type CBTC (*Communication Based Train Control*). Son fonctionnement repose sur un principe comparable au SACEM installé en 1989 sur la ligne A du RER pour en augmenter le débit. À tout instant, la vitesse pouvant être atteinte par un train est recalculée en fonction de la distance le séparant du précédent, et en fonction du freinage du convoi. Il n'y a plus de canton fixe : il est devenu mobile et déformable.

Le système comporte les trois couches fonctionnelles de tout système CBTC :

- le contrôle continu de la vitesse des trains (*ATP, Automatic Train Protection*),
- le pilotage des trains (*ATO, Automatic Train Operation*), le conducteur, toujours présent, ne donnant plus que les ordres de départ comme dans la plupart des lignes de métro,
- la commande des itinéraires et l'aide à la régulation des circulations par l'outil *ATS+*, qui peut gérer lui-même le trafic sous la surveillance des agents de régulation, ou se limiter à proposer des scénarios de gestion si la situation est dégradée.

Seules les sections centrales, à haute densité de circulation, ont prioritairement besoin des systèmes NExTEO et *ATS+*.

NExTEO comporte une fonction de transition permettant le passage automatique, en circulation, du régime manuel à la conduite automatique. C'est indispensable, car le réseau sera en partie parcouru par des trains (trains de fret, etc.) sans ATO.

En janvier 2016, après appel d'offres, la société Siemens a été choisie pour fournir, à un prix de 186 millions d'euros, le système conjoint ATO et ATP. Le système *ATS+* est développé par deux sources : un groupement Siemens-Atos et Alstom.

QUE CHANGE NExTEO ?

On passe d'un **espacement de sécurité fixe** entre deux trains à un **espacement mobile** qui s'adapte en temps réel aux conditions de circulation et à la vitesse des trains.

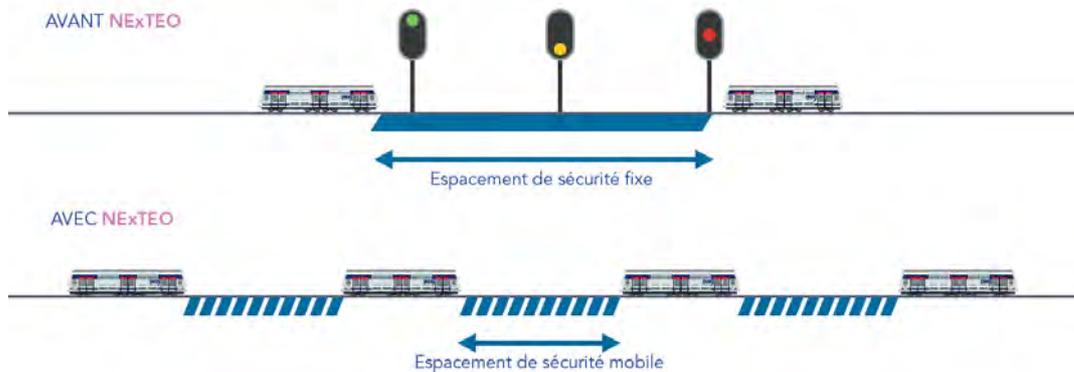


Illustration 4: le principe de fonctionnement de NExTEO (source : les parties prenantes au projet NExTEO en avril 2016)

NExTEO, POUR GÉRER LE TRAFIC DES TRAINS LES UNS PAR RAPPORT AUX AUTRES

Au coeur de NExTEO, le nouveau système CBTC établit une **communication continue entre les trains et l'intelligence centrale** chargée de gérer automatiquement le trafic.

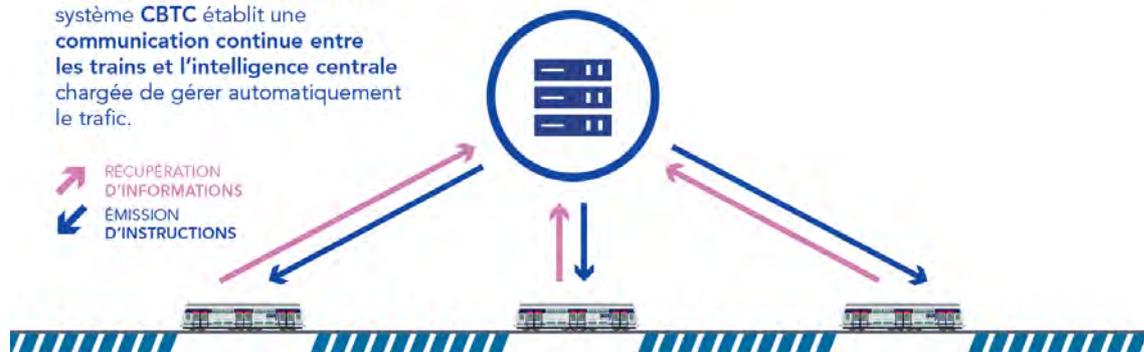


Illustration 5: la gestion des trafics avec NExTEO (source : les parties prenantes au projet NExTEO en avril 2016)

La partie centrale de la ligne E du RER fonctionnera bientôt sous NExTEO, avec un débit maximal de 28 trains par heure. Le débit est limité par la configuration des gares de La Défense et Porte Maillot. NExTEO sera déployé à partir de 2024, juste après l'arrivée des nouveaux matériels RER 2N NG (*Nouvelle génération*) dont les performances de vitesse et d'accélération sont nécessaires pour accroître le débit.

En avril 2016, la région d'Île-de-France a demandé à la RATP et à la SNCF de travailler ensemble à l'installation de NExTEO sur les lignes B et D du RER. Il pourrait permettre, dans le tunnel Châtelet – Gare du Nord, le passage à trente-six trains³⁶ par heure et par sens. La mise en service de NExTEO ne se ferait qu'après la livraison des nouveaux trains MING (*Matériels d'interconnexion de nouvelle génération*) entre 2025 et 2029. Ainsi NExTEO deviendrait-il la solution de référence sur les sections

³⁶ maximum de la capacité théorique

centrales de toutes les lignes de RER, qu'elles soient exploitées par la RATP ou par la SNCF.

Un déploiement plus large a été esquissé, comme le montre l'illustration n° 6. À ce jour, il n'existe pas encore de schéma directeur.

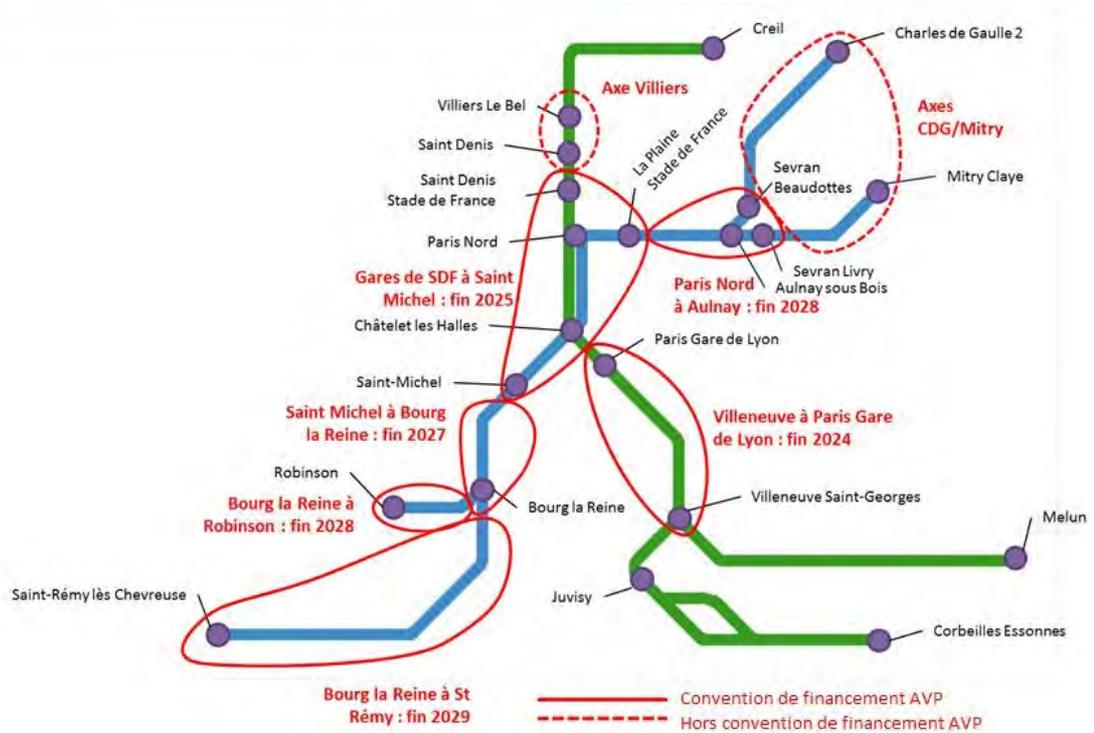


Illustration 6: déploiement de NexTEO tel qu'envisagé en juillet 2018 (source : SNCF Réseau)

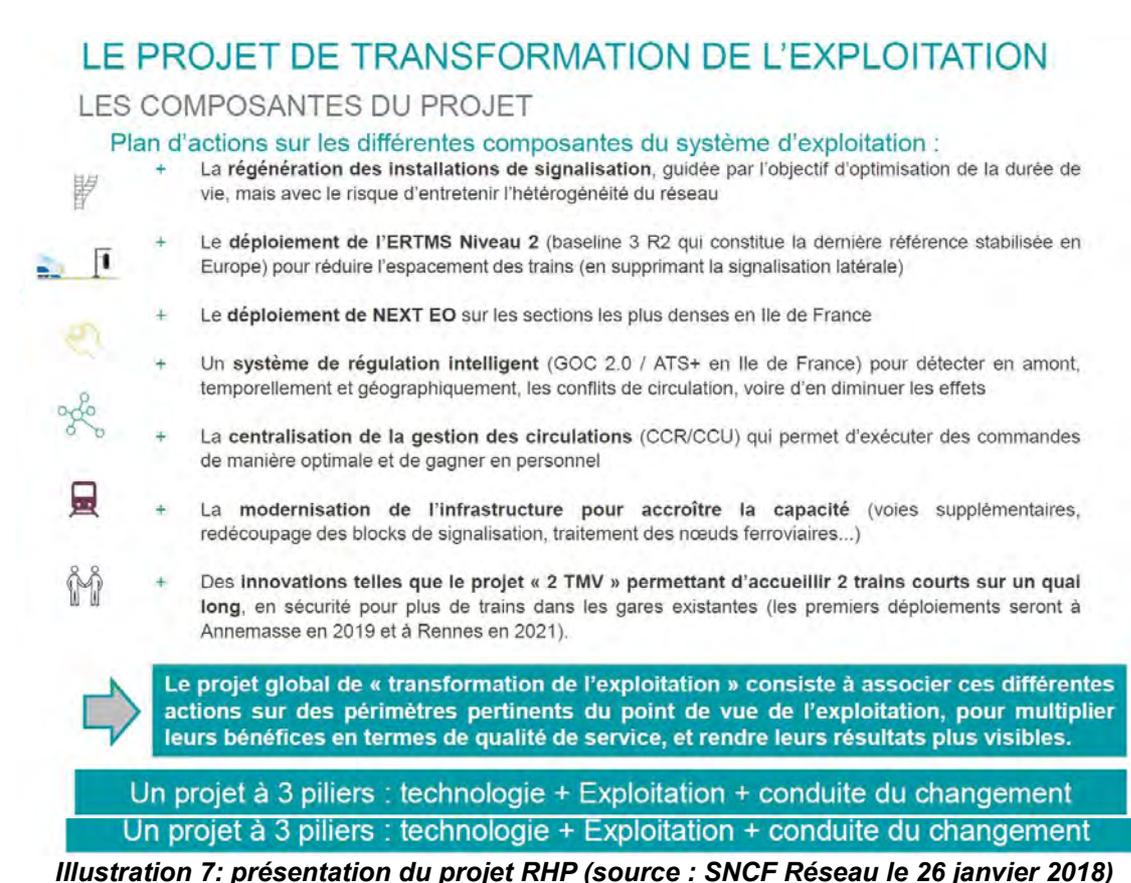
3. Les orientations de SNCF Réseau concernant le projet RHP

Le Réseau à haute performance (RHP) manifeste l'intention de transformer fondamentalement l'exploitation du réseau principal en vue de la rendre plus fiable, plus performante et moins coûteuse. Il s'inscrit dans les six « *objectifs prioritaires* » du projet *Nouvel'R* de SNCF Réseau :

- « *poursuivre le « combat » pour la sécurité* »,
- « *mettre l'accent sur la politique commerciale pour favoriser l'usage du ferroviaire* »,
- « *rénover en priorité le réseau le plus circulé* »,
- « *augmenter la capacité et la robustesse des axes et nœuds saturés ou à fort potentiel* »,
- « *accélérer la modernisation des systèmes d'exploitation et de la signalisation* »,
- « *accompagner la formation de ses agents* ».

3.1. SNCF Réseau a commencé à définir son projet RHP.

L'illustration n° 7 résume les composantes du projet RHP selon SNCF Réseau :



Comme le rappelle un document de SNCF Réseau daté du 20 novembre 2017, transformer l'exploitation, c'est moderniser les installations, mais aussi « *s'assurer que les installations, les grilles horaires et l'ensemble des éléments de conception sont*

cohérents, définir un ensemble de nouvelles règles pour l'exploitation en ETCS, repenser les processus de mise en œuvre des installations de signalisation ».

Dans sa composante technologique (actifs physiques), le projet RHP exécute la nouvelle *stratégie pour la signalisation* approuvée récemment par SNCF Réseau. Cette stratégie vise à des installations et systèmes d'exploitation largement automatisés et évolutifs, y compris pour la gestion des circulations et la régulation du trafic.

Hors de la région d'Île-de-France relevant d'une démarche *ad hoc*, l'architecture-cible est fondée sur les techniques et systèmes suivants :

- l'ERTMS au niveau 2 (avec compatibilité au niveau 3) sans signalisation latérale,
- la commande centralisée du réseau (projet CCR), s'appuyant sur l'outil Mistral NG,
- des outils automatisés de gestion et de régulation du trafic (projet GOC 2.0),
- des postes d'enclenchement entièrement informatiques (PAI NG).

Il est fait le choix de retenir l'ETCS au niveau 2 de manière systématique. L'illustration n° 8 présente les arguments de SNCF Réseau.

- **Le choix d'ETCS niveau 2 ou niveau 3**
 - L'expérience montre que la migration vers ETCS1 est complexe pour un gain peu important hormis l'interopérabilité
- **ETCS 2/3 permet la disparition de la signalisation latérale et donc des gains de performance**
 - La suppression des signaux (et du câblage associé) est un facteur d'économie en soi
 - La banalisation d'une voie n'est plus qu'une question de paramétrage
 - Plus d'adhérence à des installations physiques: les opérations de modification de plans de voie ou de remplacement d'ADV sont facilitées et moins coûteuses
 - Augmentation de la performance par l'ajustement des points de reprise de vitesse et une meilleure gestion du glissement aux convergences
- **ETCS 3 permet en outre la disparition des équipements en voie (plus de détection de train au sol) et une densification du block, lorsque nécessaire, plus aisée**
- **Dans les deux cas une réduction des coûts d'investissement et des coûts de maintenance de la signalisation, est à attendre**
- **Les développements viseront donc ETCS niveau 2, avec une compatibilité niveau 3 systématique et la recherche du déploiement du niveau 3 dès que possible (en fonction de l'équipement des matériels roulants de la fonction d'intégrité)**

Illustration 8: arguments de SNCF Réseau en faveur de l'ETCS au niveau 2 (source : SNCF Réseau en juin 2018)

Le projet RHP est d'ores et déjà illustré par :

- deux projets-pilotes, à savoir HPGVSE et la modernisation de la ligne Marseille - Vintimille,
- la démarche NExTEO en Île-de-France,
- une esquisse de déploiement général sur le réseau ancien.

3.2. Le projet « Haute Performance Grande Vitesse Sud-Est » (HPGVSE) est engagé.

Le projet HPGVSE concerne l'axe à grande vitesse entre Paris et Lyon. Conformément aux conclusions d'un rapport³⁷ du Conseil général des ponts et chaussées (CGPC) de 2005, afin d'augmenter sa capacité de treize à seize sillons par heure et par sens, la ligne sera équipée de l'ETCS au niveau 2.

Le projet HPGVSE

D'un coût de 130 millions d'euros³⁸, complété par le renforcement des installations électriques ainsi que par des adaptations dans les sections d'extrémité (115 millions d'euros) nécessaires pour accueillir le trafic supplémentaire, l'équipement sera associé à l'installation de nouveaux postes d'enclenchement et aux investissements du projet CCR (pour un total de 340 millions d'euros).

Le projet se substitue aux opérations de renouvellement des postes et blocks, tout en apportant des gains de productivité (environ 2 millions d'euros par an) et de capacité (nouvelles recettes d'environ 50 millions d'euros par an). Après prise en compte de la subvention européenne de 117 millions d'euros, ces gains permettent de le financer, même avec un taux d'actualisation élevé (9 %). Le pourcentage de 9 % permet de prendre en compte le risque sur le niveau de redevances³⁹.

Le bilan socio-économique de l'opération est assurément bon. La *valeur actuelle nette* (VAN) est de 3,3 euros par euro investi. Elle provient principalement de la circulation de trains supplémentaires en heure de pointe.

Dans un document du 28 février 2018, SNCF Réseau considère que la fin des travaux de signalisation (ERTMS et postes) le 31 décembre 2023, telle que contractualisée avec l'Union européenne, est un objectif « *tenable [...] du fait du recours massif à l'externalisation* ».

Avec trois autres gestionnaires d'infrastructure ferroviaire (ceux de la Belgique, du Royaume-Uni et du tunnel sous la Manche), SNCF Réseau a engagé une démarche semblable (projet « *HPGV Nord* ») pour un déploiement coordonné de l'ETCS sur les lignes internationales à grande vitesse joignant Paris, Londres et Bruxelles. En juillet 2018, les quatre GI ont signé un protocole en ce sens. La mise en service se ferait en 2028.

3.3. La modernisation de la ligne entre Marseille et Vintimille est dans une phase d'étude bien avancée.

La ligne ancienne Marseille – Vintimille est principalement utilisée par des trains de voyageurs (TER et TGV). Elle subit aujourd'hui un nombre élevé d'incidents, dégradant fortement la régularité des trains. L'insuffisance de capacité pénalise plusieurs segments de l'axe, tel Cannes - Monaco.

Le schéma directeur (SD)⁴⁰ de développement de l'axe Marseille - Vintimille prévoit plusieurs opérations pour répondre aux enjeux de régularité et de capacité. Compte tenu de l'âge de la signalisation (espacement et enclenchement), le renouvellement est assez urgent. Il est projeté de déposer la signalisation latérale une fois le projet

³⁷ « *Augmentation de capacité de la ligne à grande vitesse Paris-Lyon* », CGPC, janvier 2005

³⁸ aux conditions économiques de 2016

³⁹ Ce risque est assurément important. Selon les engagements pris à l'occasion du vote de la loi pour un nouveau pacte ferroviaire, la révision du *contrat pluriannuel 2017-2026* devrait prévoir une moindre croissance tarifaire des redevances d'accès.

exécuté. L'investissement est estimé à 385 millions d'euros, alors que le renouvellement seul coûterait 370 millions d'euros. Il faudra en effet renouveler par anticipation les postes incompatibles avec l'ETCS. Le coût d'équipement des matériels roulants est à prévoir aussi.

L'investissement de signalisation ne permettra pas à lui seul des gains de capacité. Mais ils deviennent possibles avec plusieurs aménagements complémentaires ; ils sont à l'étude.

La mission du CGEDD n'a pas connaissance d'une étude financière. Le bilan socio-économique qui lui a été transmis fait apparaître un faible déficit financier pour SNCF Réseau, malgré les fortes économies de maintenance. C'est notamment à cause de l'équipement en ETCS des engins de travaux. Mais le bilan socio-économique d'ensemble est assurément bon. C'est grâce aux gains de régularité pour les voyageurs ; ils atteignent jusqu'à trois points de pourcentage pour ce qui concerne les TER de ville à ville.

Cette évaluation est juste si les gains de régularité découlent directement du projet RHP. En d'autres termes, on a implicitement supposé que le projet RHP serait la seule manière d'y améliorer la régularité particulièrement mauvaise. Or, par comparaison avec d'autres lignes ayant une densité comparable de circulations, il apparaît que beaucoup d'incidents pourraient être évités grâce à de simples mesures d'exploitation⁴¹, sans investissement notable. En outre, faut-il vraiment prendre en compte des avantages socio-économiques qui laisseraient la régularité⁴² des TER au médiocre niveau de 78,9 %, celle des TER entre villes à celui de 62,9 % et celle des TGV à celui de 60,0 % ? Enfin, une part des gains mesurés dans l'actuelle évaluation de SNCF Réseau ne semble due qu'au rattrapage de retards causés par des départs tardifs.

3.4. Pour le réseau conventionnel, SNCF Réseau a esquissé le plan du projet RHP.

Dans un document présenté à la DGITM le 6 avril 2018, SNCF Réseau a esquissé un premier projet RHP pour le réseau structurant⁴³. Il est fondé sur l'équipement entre 2025 et 2050 de dix-sept axes (cf. illustration n° 9 ci-après), d'une longueur totale de 10 600 kilomètres.

Dans cette esquisse, l'investissement entre 2016 et 2050 monte à 19,3 milliards d'euros, contre 17,7 milliards d'euros dans la stratégie actuelle de renouvellement (+ 9 %). Dans le calendrier choisi, fixé surtout par les échéances de renouvellement, les effets de synergie (4,3 milliards d'euros d'économie) contrebalancent largement les coûts du renouvellement anticipé des postes (1,2 milliards d'euros). Mais pour autant, ils ne permettent pas de compenser les surcoûts de l'installation de l'ETCS.

La mission du CGEDD relève qu'avec quatre milliards d'euros (montant augmenté de 0,6 milliard pour déposer les installations existantes), l'ETCS représente certes une

⁴⁰ En 2013, à l'occasion des études du grand plan de modernisation du réseau (GPMR), SNCF Réseau a identifié 25 axes et 20 nœuds pour le réseau structurant. À la demande de l'État, il s'est engagé dans l'établissement de schémas directeurs (SD) pour chacun de ces axes et nœuds. Dressés pour 2030, ces schémas permettront de définir le *projet de service* de SNCF Réseau, cohérent avec les perspectives d'offre de transport voulues par les AOT et les prévisions d'usage du réseau pour le fret et les services non conventionnés.

⁴¹ cf. rapport sur la robustesse de juillet 2017

⁴² cf. rapport de synthèse de l'étude d'exploitation du 04/12/2017 (Systra, Modélisation et étude d'exploitation)

⁴³ Le *contrat pluriannuel 2017-2026* définit le réseau structurant comme étant constitué des lignes à grande vitesse et les lignes anciennes de catégories UIC 2 à 6.

part importante du projet RHP. Mais ce sont les travaux de renouvellement des installations d'enclenchement (y compris les blocks) qui montent à 75 % des dépenses.



Illustration 9: périmètre à 17 lignes du premier bilan économique du projet RHP sur 2025-2050 (source : SNCF Réseau le 6 avril 2018)

Une étude financière a permis de comparer, pour ces dix-sept axes, deux scénarios : le renouvellement à l'identique, et la modernisation selon le projet RHP. En *valeur actuelle nette* (VAN), elle conclut à un coût équivalent (+ 4 % pour le scénario de modernisation). Ce calcul fait apparaître un faible gain d'exploitation (OPEX) : 29 millions d'euros (VAN) sur 7,8 milliards d'euros. Ici, SNCF Réseau a retenu des hypothèses prudentes pour les économies tirées de la simplification des installations. C'est vrai aussi, dans l'autre sens, pour les coûts d'exploitation et de maintenance des technologies nouvelles, et d'équipement des engins de travaux en ETCS.

Une différence importante sépare néanmoins les deux scénarios. Elle réside dans la nécessité, pour le projet RHP, d'équiper en ETCS l'ensemble des matériels roulants circulant sur les lignes. Cela exigerait le *retrofit* d'un grand nombre d'engins en circulation ou en commande. Les opérations industrielles coûteront aux EF, selon SNCF Réseau, entre 2 et 3 milliards d'euros. Bien évidemment, ces dépenses doivent être prises en compte dans les évaluations socio-économiques.

3.5. Des démarches semblables au projet RHP sont engagées dans toute l'Europe.

La démarche française n'est pas isolée, loin s'en faut.

Le projet RHP s'inscrit dans un mouvement européen, et même mondial, de modernisation de l'exploitation ferroviaire : *Digital Rail* de Network Rail au Royaume-Uni (depuis 2015), *SmartRail 4.0* des Chemins de fer fédéraux (CFF) en Suisse (depuis 2017), *Digitale Kapazitätssteigerung* en Allemagne (depuis 2016). Le cas de l'Allemagne est de première importance. Ayant le plus grand réseau en Europe, après avoir inscrit à la fin de 2017, dans son plan de déploiement d'ERTMS, l'équipement d'une ligne ancienne, l'Allemagne vient d'annoncer un plan complet de déploiement d'ERTMS et de modernisation des systèmes d'enclenchement avant 2040. La modernisation embrasserait 80 % du réseau allemand.

L'ambition et le rythme de ces initiatives sont assurément différents. Mais toutes ont en commun le principe d'équiper tous les matériels roulants en ETCS. Ils devront circuler sur des lignes dont la signalisation latérale aura été déposée. Les voies ne seront plus équipées que de signaux virtuels, visibles seulement au tableau de bord (*Display Machine Interface*, DMI).

La stratégie est particulièrement exigeante pour le matériel roulant, qui doit être équipé de l'ETCS.

Mais à cet égard, un grand changement est survenu dans la gestion européenne de l'ERTMS.

En septembre 2016, à l'initiative des parties prenantes et de l'Agence européenne pour les chemins de fer (ERA, cf. annexe n° 4), la Commission européenne est convenue d'obéir, pour chaque nouvelle version de l'ERTMS, à un principe impératif de **compatibilité ascendante**⁴⁴. Désormais, tout véhicule équipé de l'ETCS (*Baseline 3* et au-delà) devra pouvoir circuler sur toute ligne équipée, ancienne (à partir de la *Baseline 2*) ou future. Ce n'était pas vrai jusqu'à présent. Sachant qu'une version nouvelle du logiciel de bord pouvait, avec la certification, coûter de 75 000 à 100 000 euros par engin déjà équipé, on comprend pourquoi les EF attendaient le dernier moment pour agir. Désormais, toute modification de la signalisation ne devra entraîner derrière elle aucune modification pour les EF. Si ce n'était pas le cas, les dépenses des EF devraient être entièrement remboursées par les GI.

3.6. Selon la mission du CGEDD, le projet RHP s'impose.

Les faits et arguments qui précèdent confirment **le grand intérêt du projet RHP**.

Pour la gestion des circulations en temps réel comme pour les autres tâches (traitement des demandes de sillons tardives, gestion des passages à niveau en dérangements, gestion des travaux, etc.), les outils d'exploitation centralisés et automatisés amélioreront assurément la qualité du service. En augmentant le périmètre d'intervention⁴⁵ des agents de circulation et des régulateurs⁴⁶, ils faciliteront

⁴⁴ cf. *Memorandum of Understanding* de 2016, repris dans le *Working Paper* du 14/11/2017 intitulé « *Delivering an effective and interoperable European Rail Traffic Management System ERTMS* »

⁴⁵ Les grands réseaux américains de classe 1 gèrent l'ensemble de leurs circulations, il est vrai peu denses, avec un seul centre. La société BNSF, dont le réseau dépasse 50 000 km, n'emploie que 500 agents-circulation.

⁴⁶ Avec les nouveaux outils, ces métiers fusionneront un jour. C'est, par exemple, le cas en Suisse, où les CFF n'emploient plus que des chefs-circulation.

la gestion des trains de long parcours⁴⁷. Bien sûr, ce sera aussi une abondante source de productivité.

Sur le plan technique, s'appuyer sur l'ETCS présente des avantages indéniables. La suppression de la signalisation latérale simplifie les installations. Elle facilite leur gestion. Elle facilite les adaptations ultérieures de l'infrastructure : il ne faudra plus déplacer des signaux physiques, mais seulement reparamétrer des logiciels. Dans sa dernière version, l'ETCS offre un potentiel nouveau de capacité, en raison de l'optimisation de la courbe de freinage selon les caractéristiques du train, et de la réouverture possible d'un signal dès que le canton suivant est libéré⁴⁸.

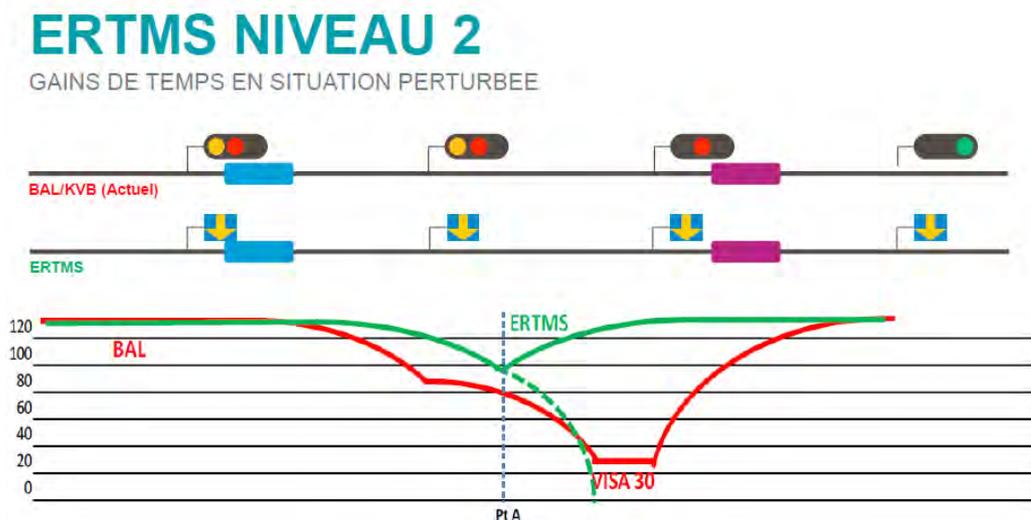


Illustration 10: l'avantage associé à la réouverture du signal (source : SNCF Réseau)

De plus, grâce à la transmission continue, grâce au potentiel d'évolution technologique d'un standard européen et même mondial⁴⁹, le niveau 2 offre des fonctions et services nouveaux. En Europe, l'ETCS est maintenant un pivot dans la démarche de numérisation ferroviaire.

Ne pas s'engager dans le projet RHP serait donc gravement préjudiciable. **Ce serait fermer l'avenir du réseau français en le cantonnant dans un isolement technologique.**

Mais le projet RHP demande à être précisé et affermi.

⁴⁷ Ainsi sont, depuis 1981, les postes à long rayon d'action utilisés pour les TGV.

⁴⁸ En niveau 1 (transmission ponctuelle), il est nécessaire d'équiper le signal d'une boucle de réouverture (Euroloop) pour disposer de cette fonctionnalité.

⁴⁹ notamment en Chine

4. Les enjeux à étudier par SNCF Réseau pour dresser le schéma de modernisation

La mission du CGEDD croit que le projet RHP est indispensable. Il est l'objet du *schéma* que préparera SNCF Réseau.

Dans la chaîne de valeur du transport ferroviaire, SNCF Réseau est le fournisseur d'un produit essentiel, le sillon, qui conditionne la qualité du service de transport. En tant qu'agent économique, l'objectif de SNCF Réseau est de répondre, au meilleur coût, à toutes les demandes de sillons et à satisfaire l'attente au regard de la qualité de service. Les besoins des EF sont le plus souvent dictés par leurs propres clients : AOT, voyageurs et chargeurs. Le projet RHP repose sur cette logique de services. Sa conception comme son déploiement devront rester fidèles à cette logique de qualité.

La préparation du *schéma* devra s'inscrire dans les actuels processus et procédures de planification. Après la transformation en 2020 de SNCF Réseau d'établissement en société, son action de propriétaire et d'exploitant du réseau ferroviaire national, au service des EF et des AOT, restera encadrée par deux dispositifs :

- le *contrat pluriannuel* prévu à l'article L2110 du code des transports, par lequel l'État précise ses objectifs et ses attentes durant une période de dix ans (contrat devant être actualisé tous les trois ans, toujours pour dix ans),
- le plan d'entreprise prévu à l'article L2122-7-1 du code des transports, approuvé par SNCF Réseau, qui traduit notamment la manière dont la société s'organise pour exécuter le *contrat pluriannuel*.

Les recommandations que la mission du CGEDD présentera concerneront l'un ou l'autre de ces dispositifs juridiques.

4.1. L'équipement des matériels roulants en ETCS est un sujet de grande importance.

L'équipement des matériels roulants en ETCS ne concerne pas directement le projet RHP de SNCF Réseau. Mais il en constitue une condition de succès.

Il revient à SNCF Réseau d'offrir aux EF un cœur de réseau qui soit équipé en ETCS. Il revient aux propriétaires ou exploitants de matériel roulant de s'adapter. Cette approche est juridiquement correcte. Mais elle fait abstraction de l'économie de cette position pour les EF et les AOT.

Hormis les **rames à grande vitesse** mises en service depuis 2007, quelques dizaines seulement, parmi les quelque 3 600⁵⁰ engins français pour le transport des voyageurs, sont aujourd'hui équipées de l'ETCS. Alors que l'obligation d'équipement s'applique en principe à tout véhicule commandé depuis 2012 ou mis en service depuis 2015, des dérogations ont exagérément profité à nombre d'engins récents.

Pour les **services conventionnés**, la mission du CGEDD considère qu'il revient bien aux détenteurs des matériels d'entreprendre les travaux nécessaires, et aux AOT d'en supporter la charge financière. Il faudra permettre aux AOT, si elles le souhaitent, de mettre en concurrence ces travaux de *retrofit*, même lorsqu'elles ne sont pas propriétaires des matériels. Quant aux TGV, équipés peu à peu de l'ETCS depuis 2006, les dernières rames sans équipement devraient être retirées du service en 2030 au plus tard. Il reviendra à SNCF Réseau d'annoncer avec un préavis suffisant la dépose de la signalisation latérale sur chaque ligne ou nœud du projet RHP.

⁵⁰ environ 2 400 rames TER et TET, 800 rames (SNCF) Transilien et 400 rames TGV, sans compter les engins de manœuvre et les trains locaux

Sillonnant en général de long en large tout le réseau, les **matériels roulants pour le transport des marchandises** seront nombreux à être touchés dès le premier déploiement de l'ETCS. Eu égard à la fragile situation des EF, la mission propose qu'une aide publique, égale si possible à 50 % des coûts, leur soit consentie. Elle compléterait les aides européennes prévues pour les engins circulant sur l'un ou l'autre des corridors de fret. La mission du CGEDD propose que sans attendre, en complément du plan national de déploiement, l'Administration française soumette une demande de subvention européenne pour une première étape de *retrofit*.

L'annexe n° 10 présente plus en détail cette question.

La mission du CGEDD présente trois recommandations :

1. *L'Administration doit désormais refuser toute dérogation à l'obligation d'équiper les matériels roulants en ETCS.*

2. *Le retrofit des matériels roulants doit être à la charge des détenteurs, sous réserve d'une aide de l'État et de l'Union européenne pour le transport du fret. SNCF Réseau pourrait coordonner la gestion des subventions publiques.*

3. *Le retrofit doit pouvoir être fait aussi bien par SNCF Mobilités que par l'industrie.*

4.2. La perspective d'une conduite automatique des trains doit être prise en compte sans attendre dans le projet RHP.

Les EF se préparent à l'automatisation de leurs trains.

L'appellation générale de ces systèmes est *Automatic Train Operation* (ATO). Ils permettent d'automatiser les opérations de conduite en tout ou en partie (cf. annexe n° 3).

SNCF Réseau considère qu'un système ATO de type GOA 2, qui asservit durant la circulation la conduite du train au sillon tracé, augmente notablement les avantages qui sont attendus du projet RHP dans les zones les plus denses. Car il augmentera la capacité et élèvera la régularité. Ainsi l'équipement en ATO de tous les trains pourrait-il **diminuer de 10 secondes l'intervalle entre deux trains**⁵¹. Il pourrait permettre de tracer **deux sillons de plus par sens et par heure sur la LGV Paris – Lyon**⁵². L'ATO présente aussi deux autres avantages pour les EF : moindre consommation d'énergie et diminution de la *charge mentale* pour les conducteurs.

Cet avis de SNCF Réseau est désormais partagé par toute la SNCF :

« Si le TMS intelligent et l'ATO permettent d'atteindre des gains significatifs dans la performance et l'agilité du système, c'est bien avec l'intégration de l'ATO, d'un TMS fortement automatisé, et du système ETCS que les effets leviers maximum seront atteints. Le défi majeur à relever sera celui des interactions entre sous-systèmes. Ainsi, l'automatisation du bord rend son comportement prédictible par l'infrastructure, qui est en outre capable d'intégrer en temps réel les données de performance des mobiles et l'état du trafic. Les instructions délivrées aux mobiles seront le résultat de l'optimisation globale de l'exploitation. De cette alchimie, conduisant à répartir de façon nouvelle les intelligences au bord et au sol, dépend l'optimisation du système.

⁵¹ Ce temps est associé au délai qui doit être laissé au conducteur pour lire un signal latéral et prendre la mesure nécessaire (délai appelé *khi* ou χ).

⁵² Selon SNCF Réseau, sur la LGV Paris – Lyon, le système ETCS augmenterait le nombre des sillons par sens et par heure de 13 à 16, et de 16 à 18 avec en plus le système ATO.

La collaboration, d'ores-et-déjà nourrie, entre les acteurs du ferroviaire européen sera fondamentale pour garantir la réussite de cette intégration TMS+ATO+ETCS. »⁵³.

Les équipes⁵⁴ travaillant à ce projet à la SNCF⁵⁵ assurent que ses avantages⁵⁶ lui donneront une rentabilité suffisante, que ce soit au niveau GoA 2⁵⁷ ou au niveau GoA 3 ou 4. Les avantages seront d'autant plus grands et sûrs que la gestion opérationnelle des circulations sera *intelligente*.

L'ATO sur ligne ferroviaire est en plein développement en Europe et dans le monde.

L'entreprise publique *China Railway Corporation* (CRC) a annoncé que la future ligne à grande vitesse Beijing – Zhangjiakou⁵⁸ (au nord-ouest de Beijing), exploitée sous l'équivalent chinois de l'ETCS au niveau 3, sera équipée de l'ATO à temps pour les Jeux olympiques d'hiver en 2022.

Mission a été donnée à l'ERA pour développer une spécification d'un ATO pouvant être installé en superposition de l'ETCS au niveau 2 (« *ATO Over ETCS* »). Conservant les cantons, cette architecture ne permettrait pas un gain de capacité équivalent à celui d'un CBTC. Mais il aurait l'avantage de faire de l'ATO un système purement fonctionnel, échappant aux contraintes techniques et économiques de développement du logiciel sécuritaire, l'ETCS assurant la fonction d'ATP.

Prorail, le gestionnaire d'infrastructure ferroviaire aux Pays-Bas, a engagé une expérimentation d'ATO avec l'opérateur de fret RRF sur la *ligne de la Betuwe*. Cette ligne est particulière au transport du fret. Elle est équipée de l'ETCS au niveau 1 ou 2 selon les sections.

En mars 2018 en Grande-Bretagne, GoVia (filiale de Keolis) et Network Rail ont mis en service commercial un ATO sur la section centrale du Thameslink (équipée d'ETCS au niveau 2). L'objectif est d'y faire circuler 24 trains par heure et par sens.

La mission du CGEDD considère qu'en toute zone dense, notamment pour les LGV ou le réseau francilien, le choix technique de l'ATO, qui offre qualité de service et gain de capacité, sera demandé par les exploitants.

En Île-de-France, NExTEO comprendra un système d'ATO sur les zones centrales du RER. Mais pour le moment, le projet RHP ne prévoit rien pour les autres sections franciliennes. Là où la capacité nécessaire est moins importante, l'ETCS seul devrait être installé. Ne serait-ce que pour des raisons de continuité, la mission du CGEDD considère que l'ETCS doit être pris en compte immédiatement avec l'équipement simultané en ATO.

⁵³ *Une vision du système ferroviaire du futur*, Tech4Rail, SNCF, avril 2018

⁵⁴ entretien de Pierre Izard avec la mission du CGEDD le 27 août 2018

⁵⁵ en collaboration avec l'entreprise allemande DB AG

⁵⁶ en particulier, selon Pierre Izard (SNCF), un gain de deux ou trois sillons par heure et par sens si tous les trains sont équipés d'ATO sur une ligne équipée en ERTMS (niveau 2), en plus des avantages au regard de la flexibilité de la sécurité des circulations

⁵⁷ Les spécifications techniques pour le niveau GoA 2 appliqué à l'ERTMS (niveau 2) pourraient être approuvées par l'Union européenne en 2022. La SNCF projette de faire circuler un train en prototype dès 2019. Pour le niveau GoA 3 ou 4 (pour le « *train autonome* »), la SNCF se prépare avec l'industrie à faire circuler un prototype en 2023. Les premières circulations au niveau GoA 2, GoA 3 ou GoA 4 concerneront probablement le transport du fret.

⁵⁸ L'ERTMS s'appelle *Chinese Train Control System* (CTCS) en Chine. Il y équipe l'ensemble des 26 800 kilomètres de lignes à grande vitesse exploitées par CRC. Le niveau 2 du CTCS équipe les lignes où la vitesse maximale est comprise entre 200 km/h et 250 km/h, et le niveau 3, les lignes où la vitesse maximale est supérieure à 250 km/h.

La mission du CGEDD présente cette recommandation :

4. *Le développement en France du projet RHP doit partout prendre en compte le déploiement futur de l'Automatic Train Operation (ATO).*

4.3. Aujourd'hui, hors d'Île-de France, le projet RHP ne comporte pas de TMS moderne et complet.

Le déploiement des meilleurs systèmes au niveau supérieur du projet RHP (SIPH, GOC 2.0, Mistral NG, etc.), à savoir le niveau N0 selon la terminologie de la SNCF, répond à un besoin criant de rattrapage.

Selon le rapport sur la robustesse de juillet 2017, l'usage des systèmes actuels d'exploitation est si difficile que le GI peut être parfois amené (enchaînements serrés de multiples phases de travaux, etc.) à ne plus préparer les adaptations du service horaire et à laisser les opérationnels gérer les changements. Aussi, selon le même rapport, la livraison de SIPH et GOC 2.0 est-elle attendue comme un « *sauveur* » ! Il est donc de la première importance que les mises en service soient réussies.

Mais la combinaison de deux outils, Mistral NG et GOC 2.0, participant à la fonction de TMS (*Traffic Management System*) reste une originalité française. Contrairement aux systèmes utilisés en Suisse ou en Belgique, la continuité des données, tout au long de la chaîne allant de la répartition des capacités à la gestion opérationnelle, n'est pas un objectif hors la gestion des circulations. Ainsi l'automatisation des procédures relative aux limitations temporaires de vitesse (LTV) en cas de travaux n'est-elle pas facile à unifier dans SIPH et GOC 2.0.

S'agissant de Mistral NG, la mission du CGEDD a eu connaissance des doutes qui se sont exprimés sur ses performances. Selon l'audit de l'EPFL de 2015, Mistral n'offrirait « *pas l'ensemble des avantages d'un vrai transit souple, qui permettrait la réservation des éléments au fur et à mesure qu'ils sont physiquement et logiquement libérés de la circulation précédente [et] cette limite n'est pas levée par Mistral NG* ».

La mission relève qu'en Île-de-France, le système ATS+, en cours de développement, échappe à cette dichotomie. Conçu pour gérer les circulations à *l'intervalle* et non plus à *l'horaire*, il pourrait d'ailleurs être utilisé au-delà des sections équipées de NEXTEO.

Le choix technologique fait actuellement n'est pas celui du *TMS intelligent* souhaité par le groupe public ferroviaire. **SNCF Réseau se prépare à mettre en place des outils dont les performances apparaissent trop faibles au regard des ambitions affichées ailleurs**⁵⁹. Ainsi les CFF annoncent-ils le déploiement d'un TMS assurant la production horaire de manière automatisée entre 2022 et 2025.

En conclusion, la mission du CGEDD présente cette recommandation :

5. *Le développement du projet RHP doit comporter un Traffic Management System (TMS) intelligent, c'est-à-dire un système global de gestion des sillons et des circulations qui offre aux régulateurs comme aux entreprises ferroviaires les outils informatiques les plus simples, les plus réactifs et les plus performants.*

4.4. Le projet RHP doit faire preuve d'agilité technologique.

Les bases technologiques du projet RHP sont en profonde rupture avec les actuelles technologies ferroviaires : transmission par radio et fibre optique sous l'IP, traitement

⁵⁹ On peut ajouter ceci : « *ni GOC ni ATS ne savent traiter l'exploitation des grands fonds de gare, c'est un angle mort aujourd'hui* » (réponse de SNCF Réseau à la Mission du CGEDD le 19 novembre 2018).

informatisé et automatique des ordres de circulation, transfert au système européen ETCS des fonctions sécuritaires de la signalisation. Issues de l'industrie, les nouvelles technologies sont largement connues ; en tant que telles, elles ne soulèvent pas de sérieuses difficultés d'application.

Deux questions techniques nécessitent néanmoins une grande attention pour le déploiement à court terme :

- la modernisation du **GSM-R**, essentiel au bon déploiement d'ETCS, en particulier dans les zones denses où l'on est déjà en limite de capacité,
- l'arrivée annoncée des « *game changers* » que sont les fonctions d'auto-localisation et d'intégrité des trains prévue pour l'ETCS au niveau 3 ou le niveau 3 hybride.

S'agissant du **GSM-R**, la solution est désormais connue. C'est, dans un premier temps, l'installation du système GPRS (*General Packet Radio Service*), avant le recours aux standards les plus modernes : 5G, etc. Un consensus a été obtenu en Europe. SNCF Réseau devra en préciser les conséquences dans le *schéma* du projet RHP.

Les fonctions d'**auto-localisation** des trains (par satellite ou centrale inertielle) et d'**auto-intégrité** sont prévues dans l'ETCS de niveau 3. Elles étaient envisagées pour améliorer les performances (au regard de la capacité), en supprimant la contrainte des cantons. Mais avec le développement technologique, elles présentent un intérêt économique en elles-mêmes.

4.4.1. Les trains de demain se localiseront eux-mêmes.

L'**auto-localisation** dispense de l'équipement en balises au sol, comme en lecteurs de balises à bord. Ces équipements sont onéreux, en investissement comme en entretien. C'est ce qui explique que RFI et Network Rail, comme les CFF dans le cadre de leur projet *SmartRail 4.0*⁶⁰, se soient engagés sur un niveau 2+, appelé aussi niveau 3 hybride : il conserve les cantons, mais sans balise au sol. À ce jour toutefois, le niveau de précision de la localisation garanti en sécurité (niveau SIL 4) reste insuffisant, sauf pour les lignes avec peu de circulations. Ces solutions n'ont été appliquées que sur des lignes régionales en Suède ou en Italie. Les travaux de SNCF Réseau sur l'EVC portable (ou NexTEVC) s'inscrivent dans le même cahier des charges.

Pour autant, le secteur européen semble confiant dans l'émergence à court terme de solutions techniques économiquement accessibles, compatibles avec une haute densité de circulation. Les CFF en ont fait un objectif important du projet *SmartRail 4.0*. Ils souhaitent d'ailleurs sauter l'étape du niveau 2 de l'ETCS : ils l'estiment trop coûteuse.

4.4.2. Les trains de demain vérifieront eux-mêmes leur intégrité.

L'**auto-intégrité** permet de supprimer les détecteurs au sol que sont les compteurs d'essieux ou les circuits de voie, sources de coûts importants et d'indisponibilité⁶¹. Si le développement d'une telle fonction d'auto-intégrité apparaît ne pas poser de problème pour les trains de voyageurs, déjà équipés de liaisons numériques entre voitures et motrices, la solution soutenable économiquement pour les trains de fret reste à trouver.

⁶⁰ plus ambitieux car anticipant l'ETCS de niveau 3 en centralisant en un lieu unique les fonctions de RBC et des postes

⁶¹ Selon l'audit IMDM,, les circuits de voie contribuent à plus de 18 % aux retards en Île-de-France.

4.4.3. Un niveau intermédiaire de l'ETCS entre les niveaux 2 et 3 offrira demain bien des avantages.

Dans ce foisonnement d'initiatives permis par l'ETCS apparaît une autre variante : le niveau 3 hybride. Cette solution est fondée sur un découpage virtuel du block. Des trains équipés de l'ETCS au niveau 2, dont la longueur serait garantie (auto-intégrité), seraient équipés d'un logiciel supplémentaire pour pouvoir se partager un même canton en toute sécurité. L'effet sur la capacité serait proche de celui du canton mobile et déformable de l'ETCS au niveau 3. Notamment dans des périodes creuses, il permettrait la circulation de trains sans intégrité garantie. Cette solution est développée par RFI, en Italie, pour le traitement des nœuds ferroviaires en congestion.

À ce sujet, SNCF Réseau a fait connaître à la mission du CGEDD sa position :

« Le projet de SNCF Réseau porte sur un déploiement du niveau 2 qui soit migrable vers le niveau 3. Pour éviter de compliquer les choses, la communication de SNCF Réseau se concentre aujourd'hui sur le niveau 2.

SNCF Réseau travaille, avec d'autres gestionnaires en Europe, sur un niveau 3 hybride avec block virtuel. Il présenterait l'avantage de pouvoir gérer une mixité des trains avec des trains à intégrité garantie (rames de voyageurs), pouvant bénéficier d'un espacement réduit avec un redécoupage virtuel du block, et des trains sans intégrité garantie (trains de fret notamment). Cette perspective est intégrée au référentiel ERTMS Grande Vitesse. Elle a aussi été intégrée à l'appel d'offres en cours sur la LGV Paris-Lyon. Le développement effectif du niveau 3 hybride dépendra de l'existence d'un besoin.

Il n'y a donc pas de risque de fausse manœuvre. Le dispositif envisagé est au contraire une des composantes de la stratégie technologique portée par le projet Réseau à haute performance (RHP). ».

4.4.4. D'autres innovations sont encore possibles.

Le secteur ferroviaire travaille en Europe aux trois innovations présentées précédemment au sein du programme d'innovation n° 2 : « *Advanced Traffic Management and Control Systems* » de l'initiative *Shift2Rail*. Les entreprises croient qu'elles vont permettre assez vite aux GI d'offrir plus de capacité et plus de fiabilité, tout cela à moindres coûts, sans imposer de nouvelles contraintes aux EF. Car les nouveautés seront compatibles avec les équipements de l'ERTMS au niveau 2.

L'avenir de l'ERTMS selon l'ERA

Dans une communication sur le futur système d'exploitation ferroviaire⁶², le directeur exécutif de l'ERA considère ainsi qu'avec les évolutions technologiques qui ne pouvaient être connues il y a vingt-cinq ans, il faut réviser la philosophie de déploiement de l'ERTMS. Il faut « *mieux prendre en compte toutes les opportunités technologiques* » en passant le plus tôt possible à un « *niveau 4.0* » comportant le moins d'actifs physiques pour éviter des coûts irrécupérables. Le système qu'il décrit est celui voulu par la SNCF dans la vision *Tech4Rail*. Il correspond aussi aux ambitions radicales que la Suisse a présentées dans son programme *SmartRail 4.0* ; les CFF souhaitent qu'après une phase d'expérimentation à partir de 2020, il soit déployé entre 2025 et 2038⁶³.

La mission du CGEDD considère que s'agissant d'un projet de longue durée, anticiper l'apparition de solutions technologiques largement pressenties est une ardente nécessité pour les GI, dès lors que leur application ne pèsera pas sur les EF. Aussi

⁶² Josef Doppelbauer, « *Command and control 4.0* », IRSE News, juillet et août 2018

⁶³ De ce fait, les CFF ont arrêté tout déploiement d'ETCS N2 au sol.

importe-t-il que **SNCF Réseau veille à ne pas rigidifier les solutions technologiques de son projet RHP**. Il faut que les systèmes installés (ETCS, CCR, ATO, etc.) puissent s'adapter aisément à l'intégration de nouveaux systèmes : niveau plus ou moins élevé de conduite automatique des trains, géolocalisation des convois, commande directe de sillons par les EF, modification automatique de la succession des circulations en cas d'incident, etc.

La mission du CGEDD présente cette recommandation :

6. *En tant que projet à long terme, le projet RHP doit anticiper l'arrivée des innovations de rupture qui sont prévisibles. En priorité, SNCF Réseau doit s'attacher à développer des solutions de fluidification des circulations dans les nœuds denses.*

4.5. Le déploiement du projet RHP doit s'inscrire dans la *logique d'axes*, et porter d'abord sur les zones à plus haute densité de circulation.

4.5.1. SNCF Réseau s'est engagé dans une *logique d'axes*.

À la demande de l'État, SNCF Réseau s'est engagé dans l'établissement de *schémas directeurs* (SD) pour vingt-cinq axes et vingt nœuds du réseau structurant (cf. illustration ci-après).

Ces *schémas directeurs* (SD) pour ce que sera le réseau en 2030 définiront des « *projets de service* », cohérents avec les offres de transport voulues par les AOT et les prévisions pour le transport de fret et les services non conventionnés. Les diagnostics ont commencé notamment sur les axes Marseille – Vintimille, Paris-Normandie (projet « *Haute Performance Paris Normandie* ») et Nantes – Angers – Sablé.

Ces SD permettront à SNCF Réseau de disposer d'une **vision commune** avec l'État et les AOT sur l'usage des axes et nœuds du réseau structurant.



Illustration 11: axes structurants pour les schémas directeurs du GPMR (source : SNCF Réseau)

Conformément au *contrat pluriannuel 2017-2026*, les *schémas directeurs* doivent être préparés selon le rythme suivant : diagnostics avant la fin 2017, concertation avec les parties prenantes en 2018 (avec une expérimentation dès 2017), achèvement des documents en 2019.

Le *contrat pluriannuel* requiert que SNCF Réseau planifie la maintenance par axe selon « *une vision partagée du besoin de capacité à court, moyen et long termes* ». Le *schéma* du projet RHP, et plus généralement la stratégie d'actifs de SNCF Réseau, devra veiller à la cohérence de ses propositions avec cette démarche partenariale.

S'agissant de l'Île-de-France, la mission du CGEDD a compris que les nœuds étaient les grandes gares parisiennes.

4.5.2. Le projet RHP doit se concentrer sur les zones denses durant sa première période de vingt ans.

La mission du CGEDD considère que dans une première période de vingt ans⁶⁴⁶⁵, il ne faut pas chercher par le projet RHP à équiper en ERTMS le maximum de lignes. **Il faut s'inscrire dans une démarche de création de valeur.**

⁶⁴ Au surplus, les contraintes financières qui vont peser sur SNCF Réseau durant la première période s'opposeront à des investissements de trop faible utilité économique, même peu coûteux au kilomètre.

⁶⁵ Voici le découpage retenu pour la « *Digital Railway Strategy* » approuvée au Royaume-Uni au début de 2018 : court terme (jusqu'à 2019), moyen terme (2019-2027 environ) et long terme (au-delà de 2027 environ).

Le rapport Spinetta

Le rapport « *L'avenir du Transport ferroviaire* », que Jean-Cyril Spinetta a remis au premier ministre le 15 février 2018, a présenté le périmètre suivant, eu égard à l'« enjeu majeur », selon l'auteur, de la « *performance des lignes à forte densité de circulation* » :

« *Le périmètre pertinent pour cet effort de modernisation correspond à :*

- *Une vingtaine de nœuds ferroviaires, dont les gares parisiennes, et les nœuds ferroviaires de Lyon, Marseille, Toulouse, Bordeaux...* ;

- *L'ensemble des LGV, en traitant en priorité la LGV Sud Est, proche de la saturation, et la LGV Atlantique, dont les trafics vont croître avec la montée en charge des LGV Bretagne-Pays de Loire et Sud Europe Atlantique ; la LGV Nord, qui est connectée à des réseaux étrangers qui seront également équipés de la signalisation au standard européen ERTMS devra l'être également ; enfin, en dernier lieu, la LGV Méditerranée et la LGV Rhin Rhône, compte tenu de la continuité avec le système mis en place sur la LGV Sud Est ;*

- *Sur le réseau classique, l'effort doit se concentrer sur les lignes les plus circulées pour des voyageurs longue distance et pour le fret à haute valeur ajoutée ou européen. Il s'agit principalement des radiales (Paris-Bordeaux, Paris-Rouen-Le Havre, Paris-Lyon-Marseille, etc.), de la « transversale sud » Bordeaux-Toulouse-Marseille jusqu'à Vintimille et de la transversale entre Nantes et Dijon, ainsi que Le Mans-Nantes, et enfin des itinéraires européens comme le débouché du Lyon Turin entre Modane et Ambérieu Lyon et l'artère Nord-Est avec sa continuité entre Metz et Dijon, ... ».*

Selon la mission du CGEDD, le projet RHP doit sans nul doute être déployé là où sa valeur ajoutée est la plus haute et sûre, c'est-à-dire sur les **lignes denses**. C'est le cas notamment des lignes chargées⁶⁶ de **nombreux trains du quotidien**, selon la priorité du gouvernement. Néanmoins, la liste de J.-C. Spinetta apparaît encore bien trop ambitieuse au regard des ressources financières que pourrait rassembler SNCF Réseau avant 2030.

En définitive, la mission du CGEDD propose que le **schéma** du **projet RHP** envisage pour la première période de vingt ans (2020-2040) l'étude et la réalisation, en tout ou en partie, des opérations suivantes :

- les projets-pilotes, c'est-à-dire :
 - la LGV Paris – Lyon,
 - la ligne ancienne Marseille – Vintimille,
- les lignes de l'Île-de-France, c'est-à-dire notamment :
 - les lignes A (partie relevant de SNCF Réseau), B (partie relevant de SNCF Réseau), C, D et E du RER (avec NExTEO dans les parties centrales des lignes B, C, D et E),
 - les lignes anciennes Paris - Creil, et Paris – Vaires-sur-Marne,
- le réseau à grande vitesse avec :
 - les LGV Nord et Atlantique,
- le réseau ancien avec :

⁶⁶ Selon le *contrat pluriannuel 2017-2026* (page 23), le réseau dense est constitué des « *Lignes à grande vitesse dites LN n° 1 à 6, lignes classiques de catégories UIC 1 à 4 et grands nœuds ferroviaires* ».

- les nœuds de Lyon⁶⁷, Marseille, Toulouse, Bordeaux et Lille,
- la ligne Nantes – Angers - Sablé⁶⁸, couplée avec la LGV Bretagne-Pays-de-la-Loire,
- la ligne Cerbère – Montpellier – Nîmes,
- la ligne Metz - Dijon – Mâcon – Lyon – Marseille,
- la ligne Le Havre – Paris (– Lérrouville ?),
- la ligne Dijon – Bourg-en-Bresse – Ambérieu – Chambéry – Modane,
- les lignes Lille – Lens et Lille – Douai,
- la ligne Metz – Luxembourg⁶⁹.

La réalisation du **projet RHP** sera partout suivie de la désinstallation des signaux latéraux. À chaque fois, c'est-à-dire pour chaque opération, l'échéance est à convenir avec les AOT avant l'engagement des travaux. L'échéance sera toujours postérieure, **mais de peu**, à l'équipement en ETCS de chaque ligne ou nœud.

La mission du CGEDD recommande que SNCF Réseau soit chargé, sans cofinancement des AOT dans un premier temps, d'une **étude exploratoire sur chacune des opérations**, et qu'il en présente les conclusions à l'État et à l'AOT.

S'agissant du réseau francilien, la mission du CGEDD propose que le *schéma* du projet RHP s'attache dans un premier temps à définir, en fonction de critères d'exploitation et de schémas de services, un **RHP transilien**. Il devra traiter spécialement des outils propres aux zones denses, NExTEO bien sûr, mais aussi ATO et ATS+ sur l'ETCS au niveau 2 en assurant la continuité des pratiques d'exploitation. Il sera l'objet d'un **sous-schéma** de modernisation, dressé en concertation étroite avec Île-de-France Mobilités. Il s'inscrira dans les procédures propres à cet établissement : schémas de principe, avant-projets, etc.

7. Le projet RHP ne doit porter que sur la modernisation des lignes et nœuds denses (notamment en Île-de-France), des plus grands corridors européens et des LGV.

⁶⁷ En cours de préparation, le débat public sur le nœud ferroviaire de Lyon aura à traiter la question de la transformation par le projet RHP. C'est la conséquence, en particulier, de la lettre du 20 septembre 2018 de la ministre chargée des transports au président de SNCF Réseau :

« Je suis attachée à ce que ce débat public intègre pleinement la priorité donnée par le Gouvernement aux transports du quotidien, et donc à la modernisation du réseau existant et à la désaturation des nœuds. Il convient en effet d'étudier toutes les optimisations possibles sur le réseau existant, tant sur l'exploitation et les services que sur l'infrastructure, afin de redonner de la régularité et de la capacité au nœud, avant de lancer de grands projets d'infrastructure. Ainsi je souhaite que le débat puisse s'engager dans la perspective d'un doublement de la part modale du transport ferroviaire au sein du nœud lyonnais. ».

⁶⁸ L'amélioration de l'exploitation ferroviaire sur Nantes – Angers est considérée comme nécessaire et urgente dans le rapport de mission de Francis Rol-Tanguy de juin 2018 (« *Mission d'appui auprès des collectivités territoriales à l'élaboration d'un projet stratégique pour les mobilités du Grand Ouest* »).

⁶⁹ conformément au protocole d'accord entre la France et le Luxembourg relatif au renforcement de la coopération en matière de transports transfrontaliers, signé à Paris le 20 mars 2018

4.6. Le nouveau cadre économique posé par la loi pour un nouveau pacte ferroviaire va profondément modifier la manière d'évaluer les projets de SNCF Réseau.

4.6.1. Les projets de modernisation ou de développement ont été évalués jusqu'à présent comme des projets qui viennent s'ajouter à des opérations de renouvellement.

Jusqu'à présent, pour les évaluations économiques des projets de modernisation ou développement qui sont les précurseurs du projet RHP (CCR, plan de déploiement général d'ERTMS, premiers projets d'équipement en ERTMS, etc.), SNCF Réseau a pris en situation de référence le renouvellement des infrastructures. Il a donc séparé deux sources de financement :

- le budget de renouvellement,
- un financement ad hoc, par une subvention externe ou par les résultats économiques qui lui sont propres (valorisation des économies d'exploitation et des gains de recettes sur les trafics, selon le calcul prévu au point VI.2 du contrat de performance).

Ce principe d'évaluation explique que le contrat de performance plafonne rigoureusement les dépenses de renouvellement, réputées couvertes par les produits de l'exploitation et les apports de l'État.

La même démarche est retenue pour les évaluations socio-économiques. Le bilan de toute modernisation ou tout développement est rapporté aux dépenses supplémentaires qui sont supposées apparaître *toutes choses égales par ailleurs*.

Cette approche peut masquer les risques qui surgissent des changements dans la situation de référence. Leurs effets peuvent être bien supérieurs à ceux du projet, particulièrement pour les projets de longue durée. Par exemple, en projetant durant plusieurs dizaines d'années la reconduction de techniques obsolètes, on ignore l'effet de leur disparition, tout comme, dans l'autre sens, on mésestime la productivité future des technologies émergentes. C'est ainsi que, sans surprise, les esquisses financières (cf. annexe n° 6) faites en 2016, en évaluant plusieurs scénarios pour le plan national de déploiement de l'ERTMS, ont conclu à une perte de VAN pour le groupe public ferroviaire, et à la nécessité d'une subvention publique pour SNCF Réseau et SNCF Mobilités.

La fragilité de la méthode par différence se retrouve dans les **évaluations socio-économiques** qui prennent en compte les gains de régularité et de capacité. Une technologie innovante permet d'améliorer la régularité. Valorisé selon la méthode de la fiche-outils de la DGITM, le gain de régularité peut être d'importance. En s'appuyant sur les calculs menés pour le projet Marseille - Vintimille, SNCF Réseau a fixé à haut niveau l'avantage social apporté par les gains de régularité du projet RHP : **environ 480 millions d'euros par an sur le réseau ancien**, pour un surcoût d'investissement de quelque 1,6 milliards d'euros. Mais, dans une telle façon de faire, il faudrait prouver que le gain résulte directement du seul projet RHP. Lorsque les investissements s'accompagnent d'un renforcement de l'offre pour les voyageurs et chargeurs, la mesure des avantages apportés par la capacité nouvelle est bien plus sûre que celle des avantages tirés d'une meilleure ponctualité des trains. Ainsi SNCF Réseau a-t-il déterminé que pour le **prolongement à l'ouest de la ligne E du RER**, en portant le débit de 16 à 22 trains par heure dans le tronçon central, **NexTEO en augmenterait d'un point la rentabilité socio-économique**.

4.6.2. Les projets de modernisation devront demain être justifiés au premier euro.

4.6.2.1. La justification économique des investissements de SNCF Réseau va devoir changer.

En séparant artificiellement l'investissement en une part nouvelle devant justifier d'un intérêt, et une part de renouvellement considérée comme acquise, la méthode actuelle d'évaluation suppose la perpétuité des actifs et, implicitement, la disponibilité de toutes les ressources financières qui seraient nécessaires à leur renouvellement. Or, dans leur rapport (non publié) de 2015⁷⁰, l'Inspection générale des finances et le CGEDD ont regretté que les « *projets de renouvellement, ne faisant pas l'objet d'un bilan économique formalisé, [soient] engagés à dire d'expert en fonction des possibilités techniques de poursuite de l'entretien des composants sous une contrainte d'enveloppe budgétaire* », sans stratégie explicite ni définition préalable « *d'objectifs de performance, de disponibilité et de coût fixés par axe* ». Dans le cadre du contrat pluriannuel qui lui impose de déployer une « *politique d'asset management [visant] une maîtrise globale des risques et des coûts sur le cycle de vie des équipements* », SNCF Réseau, dans son budget de renouvellement pour 2018, a tracé les grandes lignes de sa stratégie d'actifs. Mais cette inclination est récente.

La loi pour un nouveau pacte ferroviaire du 27 juin 2018 a prescrit⁷¹ que le financement en fonds propres de tout investissement demandé par l'État ou un tiers soit plafonné au montant garantissant à SNCF Réseau une rentabilité minimale des capitaux investis à hauteur d'un *coût moyen pondéré du capital* (CMPC) de référence. Cette exigence doit porter sur l'ensemble des investissements, y compris pour le renouvellement et la modernisation. Pour tout projet important⁷², l'Arafer doit publier son avis motivé sur le résultat du calcul de la participation financière ; désormais, elle regardera aussi les projets de renouvellement et de modernisation. La généralisation de la méthode aux infrastructures du réseau ferré, déjà appliquée aux actifs des gares, mettra en évidence tous les coûts de possession du réseau⁷³.

S'il était considéré que d'une manière ou d'une autre, par le truchement d'orientations ou d'objectifs pour l'exploitation, l'entretien ou le renouvellement, l'État demandait la modernisation du réseau structurant, SNCF Réseau serait fondé à obtenir de lui⁷⁴ les financements complémentaires qui seraient nécessaires à la rentabilité minimale de ses fonds propres.

À ce jour, la mission du CGEDD n'a pas connaissance de la méthode qui sera retenue par SNCF Réseau pour procéder à ses futures études financières. En particulier, en matière d'imputation du coût complet aux différentes catégories de services offerts ou au regard du découpage en actifs du réseau. Il est certain néanmoins que l'intégration au projet RHP d'un axe ou d'un nœud sera soumise, au moment de l'engagement de l'opération, à une étude *ad hoc* avec avis motivé de l'Arafer, voire pour les plus importantes des opérations, à expertise par le Secrétariat général pour

⁷⁰ rapport intitulé « *Dimensionnement des effectifs et productivité de SNCF Réseau* »

⁷¹ cf. article L2111-10-1 du code des transports (« *Pour tout projet d'investissement de renouvellement, de modernisation ou de développement du réseau ferré national réalisé sur demande de l'État, des collectivités territoriales ou de tout autre tiers, SNCF Réseau détermine sa part contributive dans le financement de ce projet de manière à ce que le taux de retour sur cet investissement soit au moins égal au coût moyen pondéré du capital de SNCF Réseau pour ce même investissement après prise en compte des risques spécifiques à l'investissement* »)

⁷² tous les projets d'un montant supérieur à 200 millions d'euros

⁷³ En 2014, SNCF Réseau a précisé que le coût complet du réseau pour 2016 serait de 8,8 milliards d'euros, et comprendrait 2,4 milliards pour la rémunération de la base régulée d'actifs.

⁷⁴ ou aux AOT qui seraient à l'origine de cette demande de modernisation

l'investissement (SGPI). La méthode d'évaluation que le conseil d'administration fixera sera de grande importance aussi pour les conventions financières que SNCF Réseau conclura avec l'État et avec les régions pour chaque opération du projet RHP, notamment dans le cadre des contrats de projet État-Région (CPER).

Un premier cas d'application est celui du projet d'équipement en ETCS de la ligne Marseille – Vintimille. Les analyses économiques et socio-économiques sont en cours. La mission du CGEDD propose que SNCF Réseau en accord avec l'État, présente à la région de Provence-Alpes-Côte-d'Azur une méthode robuste d'évaluation financière au plus tard en juin 2019⁷⁵. Une fois approuvée, cette méthode pourra ensuite être généralisée.

4.6.2.2. *L'économie du projet RHP devra aussi être appréciée dans son ensemble sur vingt ans et sur trente ans.*

L'évaluation par opération élémentaire, au fil de l'eau, prend mal en compte la synergie des investissements communs (CCR et TMS par exemple). C'est pourquoi la mission du CGEDD propose de recourir simultanément à une évaluation globale du futur *schéma*. Elle propose que cette évaluation soit menée pour deux périodes :

- l'une de vingt ans (2020-2040), sachant qu'ici devrait être évalué l'équipement de toutes les lignes et nœuds denses,
- l'autre de trente ans (2020-2050), sachant qu'ici devrait être évalué l'équipement de l'ensemble du réseau global pris en compte par la Commission européenne pour le déploiement de l'ERTMS⁷⁶.

Pour chaque axe ou nœud du projet RHP, les évaluations estimeront, même grossièrement, la capacité contributive de sa modernisation. Cette capacité servira à la négociation entre parties prenantes, notamment avec les régions : elles sont intéressées comme AOT à la performance et à l'économie du réseau, et sont responsables d'un parc de matériel roulant.

La mission du CGEDD considère que SNCF Réseau devra systématiquement étudier des **scénarios gradués**. Prenant en compte le niveau de service auquel on vise (débit, vitesse de ligne, exigence de capacité pour le fret, etc.) et la stratégie d'actifs, ses études devront regarder les différents **chemins économiques** possibles entre l'absence de toute intervention (situation de référence sans renouvellement) et l'équipement complet selon le projet RHP (ETCS, TMS, renouvellement des postes et blocks, etc.). Lorsque la solution RHP ne s'impose pas, SNCF Réseau devra approfondir les autres options possibles, en partant du financement envisageable pour le réseau et les matériels. SNCF Réseau devra prendre en compte les coûts de *retrofit*, qui serviront aussi à l'évaluation socio-économique. SNCF Réseau devra procéder à la recherche de synergies avec les autres travaux d'infrastructure (dépose d'installations, télécommunication, alimentation électrique, etc.). Il devra encore s'attacher à des tests de sensibilité aux coûts, en particulier dans la perspective d'évolutions technologiques qui simplifieraient les installations fixes et le *retrofit* des matériels. Sa démarche pourra aller jusqu'à définir les coûts d'objectif pour les équipements innovants.

La mission du CGEDD présente la recommandation suivante :

⁷⁵ C'est à cette échéance que s'achèvera l'étude d'avant-projet relative à la première phase dudit sous-projet.

⁷⁶ Le réseau francilien devrait être distingué.

8. Les études économiques et financières à mener par SNCF Réseau pour le projet RHP doivent s'appuyer sur des scénarios gradués répondant aux niveaux de service convenus avec les parties prenantes, et intégrer les évolutions technologiques prévisibles sur deux périodes de vingt et trente ans.

4.7. Pour déployer le projet RHP, SNCF Réseau devra mobiliser tous les leviers d'économie de ses politiques industrielles.

Comme l'a précisé SNCF Réseau⁷⁷ :

« Ce sont les programmes de déploiement et la contrainte financière qui détermineront jusqu'où la politique système/technique est déployée ».

Les économies d'exploitation et de maintenance pouvant être attendues du projet RHP sont certaines mais faibles. Outre les bénéfices attendus de la centralisation de la commande des postes, qui sont moins importantes qu'il était prévu, la valorisation financière des économies apporte peu à chaque investissement : quelques pourcents. Sous la condition qu'elle réponde à une demande solvable, seul un avantage de capacité peut apporter des recettes suffisantes. Mais même dans le cas de l'augmentation de capacité de la LGV Paris - Lyon, pourtant la ligne à grande vitesse la plus chargée d'Europe, les recettes nouvelles ne suffiraient pas à couvrir le coût des investissements sans le budget de renouvellement.

Plus généralement, SNCF Réseau est soumis à de sévères contraintes financières.

Il y a d'abord l'insuffisance financière pour les programmes de renouvellement⁷⁸. C'est pourquoi SNCF Réseau cherche à bien ajuster sa stratégie d'actifs. Il doit veiller notamment à ne pas mobiliser inutilement des ressources pour les lignes de rang 2 dont la pérennité n'est pas assurée.

De plus, dans le nouveau cadre financier, au titre de la couverture du coût complet, SNCF Réseau devra prendre en compte, d'une manière ou d'une autre, la rémunération du capital investi pour le renouvellement, diminuant d'autant le budget disponible. Conduisant à diminuer les taux d'augmentation, aujourd'hui à des niveaux bien supérieurs à 3 % par an, la modération tarifaire des péages pourrait faire baisser les recettes de SNCF Réseau.

En contrepartie il est vrai, l'État vient d'annoncer que 200 millions d'euros abonderont chaque année, à partir de 2022, la contribution annuelle qu'il apporte à SNCF Réseau⁷⁹.

Le succès du projet RHP dépendra donc largement de la possibilité de diminuer nettement les coûts d'investissement. Le schéma du projet RHP devra impérativement proposer une politique de système (apporter la meilleure réponse technique aux nécessités de chaque axe et nœud) et une politique industrielle (mettre en œuvre cette réponse technique) les plus économiques possibles. SNCF Réseau devra à cet égard soutenir une grande ambition industrielle.

⁷⁷ document « Notre signalisation demain - Stratégie technologique » remis à la mission du CGEDD le 13 juin 2018

⁷⁸ « L'écart entre les besoins théoriques de renouvellement des infrastructures des groupes UIC 2 à 6, LGV comprises et la trajectoire définie par le contrat de performance se monte à environ 520 M€/an (en euros constants aux conditions économiques 2017) en moyenne sur la période 2017 – 2026.) » (audit IMDM)

⁷⁹ Le dossier de presse du 18 septembre 2018 sur la programmation des investissements de transports et les priorités du gouvernement indique que l'État apporterait à SNCF Réseau 200 millions d'euros « à partir de 2022 », « ce qui permettra de lancer des projets comme la nouvelle génération de signalisation ferroviaire, pour augmenter par exemple de 20 % le nombre de trains entre Paris et Lyon ou réduire de moitié les incidents d'infrastructure entre Marseille et Nice ».

4.7.1. La politique de système doit s'inscrire dans la perspective d'un déploiement progressif du projet RHP, et fournir une boîte à outils pour entreprendre à bon escient l'étude et l'exécution de chaque sous-projet.

La stratégie technologique du projet RHP comporte des invariants fondamentaux qui doivent devenir sans attendre des impératifs du plan d'entreprise de SNCF Réseau :

- toutes les opérations d'investissement sur le réseau structurant doivent être étudiées et entreprises en entreprenant, ou en anticipant, l'installation de l'ETCS et la dépose de la signalisation latérale,
- tous les postes d'enclenchement neufs ou renouvelés doivent être des postes d'aiguillage informatiques (PAI),
- toutes les opérations de renouvellement de block doivent recourir au block numérique⁸⁰, préparant la conversion à l'ETCS.

Comme le précise SNCF Réseau⁸¹ :

« [Tous] les choix technologiques préparent le réseau à ETCS en facilitant son déploiement, grâce à l'utilisation de technologies informatiques et de produits prévus d'emblée pour la compatibilité avec ETCS ».

Mais :

« [...] l'équipement en ETCS ne peut [être] un préalable au déploiement de l'ensemble des politiques techniques ».

Et :

« [Le] non déploiement d'ETCS ou le maintien de la signalisation latérale a pour seule conséquence de ne pas accéder aux gains économiques ou de performances permis par ETCS ».

Pour beaucoup d'axes, il n'y a pas d'insuffisance de capacité. L'anticipation du renouvellement comme la contrainte du *retrofit* des matériels roulants sont trop coûteuses au regard des possibles avantages de performance.

Ce que veulent les EF, c'est obtenir le plus facilement possible des sillons qui soient bons en régime nominal d'exploitation mais aussi en cas de perturbation. Elles veulent des sillons répondant mieux à leurs besoins en matière d'occupation des voies aux terminus ou sur les faisceaux de relais, comme en matière de mouvements techniques entre les lieux de garage et les lieux du début de service. Elles souhaitent disposer de données fiables, disponibles sans couture, pour construire des plans de transport permettant le bon engagement de leurs ressources : rotation du matériel roulant, tour de service du personnel, avitaillement, information de leurs voyageurs, etc. Elles attendent beaucoup des nouvelles couches supérieures de régulation et de production des horaires (le TMS), en espérant que la numérisation leur facilitera l'accès à de nouvelles fonctions automatisées d'ATO ou de C-DAS. Est singulièrement attendue l'information le plus tôt possible des incidents de trafic.

La mission du CGEDD considère que SNCF Réseau doit s'attacher à définir un éventail de solutions transitoires anticipant le projet RHP⁸². Il doit s'appuyer sur la mise en œuvre successive des différentes composantes⁸³ du projet RHP, à des niveaux plus ou moins avancés, qualifiées selon les services pouvant être rendus, et non par leur

⁸⁰ Le block numérique emploie comme support de transmission vers les centres techniques et, potentiellement, les RBC, la fibre optique au lieu de liaisons en cuivre. Cette architecture est plus économique (environ 7,5 millions d'euros au lieu de 9,5 millions d'euros pour 20 km) et prépare le passage à ETCS, en concentrant sous forme numérique les informations d'état à transmettre au RBC.

⁸¹ cf. document « *Notre signalisation demain - Stratégie technologique* » de SNCF Réseau

⁸² selon une démarche similaire au principe « *Digital Ready* » du plan britannique *Digital Rail*

seule architecture technique. Ces solutions nécessitent un gros travail d'ingénierie d'exploitation pour adapter les procédures, processus et méthodes d'exploitation. Elles seront au cœur du travail qu'entreprendra la nouvelle *Direction générale de l'exploitation* de SNCF Réseau⁸⁴.

4.7.2. La transformation technologique ne sera possible qu'avec une modification profonde de la politique industrielle.

SNCF Réseau commence à définir et exécuter une politique industrielle à la fois innovatrice et économique.

4.7.2.1. Les postes et blocks seront demain intelligents.

S'agissant des postes et blocks numériques, SNCF Réseau se prépare à acheter un type de postes informatiques à très haute performance : le PAI NG3 ou Argos. Ce sera demain un produit unique pour l'ensemble du réseau, quelle que soit la complexité des installations. En avril 2018, SNCF Réseau a conclu des contrats en dialogue compétitif avec quatre fournisseurs de signalisation (Alstom, Ansaldo, Siemens et Thales) pour préparer la passation de trois marchés en 2019. SNCF Réseau s'est fixé l'objectif de réduire de 15 % le coût global de possession, tout en augmentant la performance globale des nouvelles installations.

Les industriels avec lesquels la mission du CGEDD s'est entretenue considèrent que **cet objectif d'une économie de 15 % est peu ambitieux**. Un gain bien plus important leur paraît possible sous deux conditions : **qu'une part prépondérante des prestations leur soit confiée, et que SNCF Réseau abandonne les procédures excessives qui encadrent les études, les vérifications et les essais**. Ils aspirent à ne plus être des fournisseurs de sous-ensembles et des sous-traitants de SNCF Réseau. Ils veulent être des constructeurs de plein exercice, pleinement responsables de leurs prestations, y compris au regard de la sécurité ferroviaire, comme ils le font avec leurs projets à l'étranger, ou dans d'autres domaines industriels où ils proposent des solutions clef en mains. Il leur apparaît que les procédures et les exigences qui encadrent les études, la réalisation, les vérifications et les essais sont très lourdes et souvent superfétatoires. Fixés pour les technologies les plus anciennes (avec relais, etc.), les référentiels n'ont pas été revus en profondeur avec l'apparition des technologies informatiques. Cela explique pourquoi la part des coûts relevant de l'industrie est si faible (25 % environ) dans les travaux de poste, et pourquoi la durée totale de réalisation est si longue (sept ans environ).

Selon la mission du CGEDD, il est de grande importance que SNCF Réseau fasse plus largement confiance à l'industrie, et qu'il n'hésite plus à **externaliser ses**

En ce sens, les investigations sur l'interface entre RBC et postes anciens sont à poursuivre. En théorie, sont compatibles avec ETCS les postes des générations suivantes : PAI 2006, PAI SSI, PRS post-1975, PRSI, PRG, PIPC, PRCI, PRSGC et SLOK. Cependant, sur la ligne Paris - Le Havre, on a diagnostiqué l'incompatibilité de plusieurs générations de relais. Aussi SNCF Réseau envisage-t-il de devoir remplacer tous les PRS post-1975, PRSI, PRG, PIPC V1 et PRCI, par des PAI pour ne plus conserver que la campagne de ces postes. Coûteuse dans son principe, une telle décision doit être analysée au cas par cas.

⁸³ qualifiées de « *brèves technologiques* » dans le *contrat pluriannuel*

⁸⁴ La mission du CGEDD a identifié deux thèmes d'importance :

(1) Le traitement de la fluidité du trafic dans les nœuds. Quels sont les bénéfices qui peuvent être attendus d'une gestion plus rigoureuse des circulations techniques, de la possibilité de stationnement de deux rames sur une voie ? Etc.

(2) Les *salles CCR*. Si, faute de postes informatiques (PAI 2006 ou PAI NG3), un secteur de circulation reste contrôlé localement, jusqu'où est-il possible d'améliorer les échanges et les remontées d'information automatiques vers le régulateur ? Etc.

productions industrielles à chaque fois que cela paraît économiquement avantageux.

Les ingénieurs de SNCF Réseau approuvent souvent une telle orientation. SNCF Réseau s'est ainsi engagé pour le PAI NG3 dans la transformation des processus d'essai en recourant à la preuve formelle.

Dans les opérations récentes, la mission n'a trouvé qu'un seul exemple où SNCF Réseau se soit attaché à un réexamen profond des processus : l'usage d'un marché dit de conception-réalisation⁸⁵ pour reconstruire le poste des Ardoines.

La reconstruction du poste des Ardoines

Le 23 juillet 2014, un incendie avait complètement détruit ce poste à Vitry-sur-Seine. Il gère le garage des rames de la ligne C du RER. Un PAI a été commandé en urgence à Ansaldo STS, par un contrat global. Cette procédure a permis de remplacer le poste détruit en un temps court : trois ans, au lieu de sept ans. Cela a été un succès, selon l'avis des industriels comme du président de SNCF Réseau⁸⁶. Une des conditions du succès a été le rigoureux travail préalable de SNCF Réseau pour définir précisément, en s'interdisant toute modification ultérieure, le programme fonctionnel du poste.

Mais les marchés de postes ne représentent que 15 % du programme de renouvellement de la signalisation. La part la plus importante des coûts concerne les vérifications et essais, et surtout, les travaux en campagne. SNCF Réseau le sait bien :

« La performance économique ne se gagnera pas en travaillant sur le poste lui-même mais en réexaminant l'ensemble des opérations, et notamment la campagne, les processus de mise en œuvre ».

4.7.2.2. Le projet Eulynx peut apporter bien des avantages.

La mission du CGEDD a relevé que le rapport IMDM avait recommandé à SNCF Réseau de s'interroger sur « *les architectures des postes, des équipements de campagne ainsi que leurs interfaces* ».

Le projet Eulynx, auquel participe SNCF Réseau, constitue une excellente opportunité d'améliorer la maîtrise de la modernisation.

Eulynx

Eulynx regroupe des GI européens autour d'un constat simple : les postes d'enclenchement informatiques permettent de nouvelles fonctionnalités, mais sont sujets à obsolescence très rapide car leurs composants principaux (microprocesseurs) sont vite obsolètes. Or, s'il est assez aisé et peu coûteux de reconcevoir le cœur d'un poste avec des composants modernes, les interfaces des postes avec les installations physiques sont souvent définies selon un standard fixé par le fournisseur. Cette imbrication technique rend difficile le jeu de la concurrence. L'objectif d'Eulynx est de dissocier le cœur du poste des équipements et installations à plus long cycle de vie. Pour cela, on crée des interfaces ou des sous-ensembles standardisés, s'appuyant sur des solutions industrielles qui ne sont pas particulières au transport ferroviaire.

⁸⁵ en réalité, un marché sur spécifications fonctionnelles détaillées, selon un modèle courant dans l'industrie

⁸⁶ entretien de la mission du CGEDD avec Patrick Jeantet le 12 juillet 2018

Le projet Eulynx est une réponse des GI à la concentration croissante des industriels de la signalisation ferroviaire en Europe. Selon les promoteurs du projet Eulynx, au premier rang desquels se trouve DB Netz, ses spécifications pourraient faire **économiser 25 % des coûts de remplacement ou de modernisation des postes**.

SNCF Réseau examinera avec les sociétés retenues pour développer le PAI NG s'il retient les spécifications d'Eulynx.

En tout cas, l'économie de 25 % ne lui semble pas possible en France, quand même elle serait avérée en Allemagne. Le GI allemand (DB Netz) s'en étant remis trop entièrement à ses fournisseurs, sa moindre maîtrise technique ne lui permet pas d'imposer d'autres spécifications que celles de l'industrie. La mission du CGEDD croit néanmoins que SNCF Réseau doit veiller à ne pas s'interdire de faire appel à des produits standardisés à large échelle, conformément à l'un des desseins du projet Eulynx.

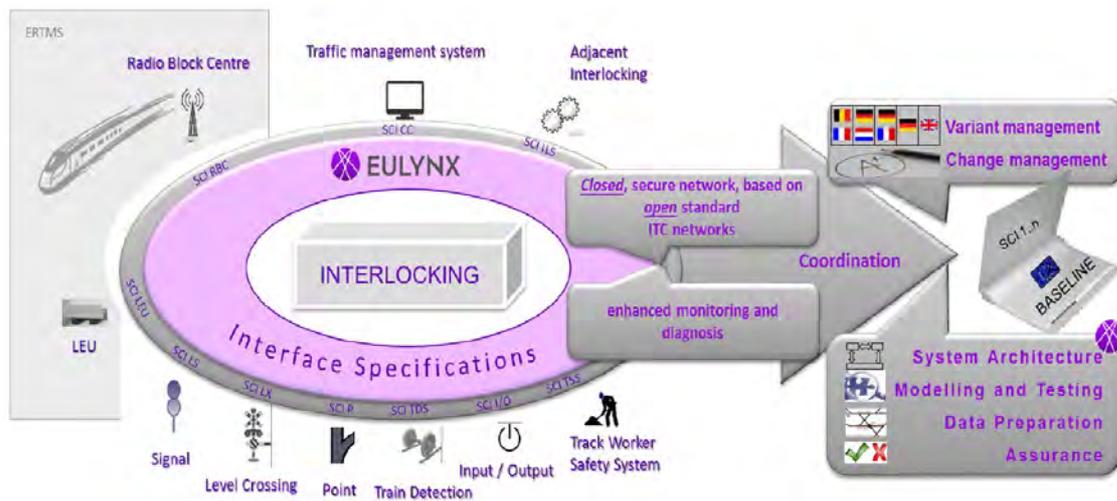


Illustration 12: périmètre des spécifications techniques préparées par le projet Eulynx (source : Eulynx le 13 décembre 2017)

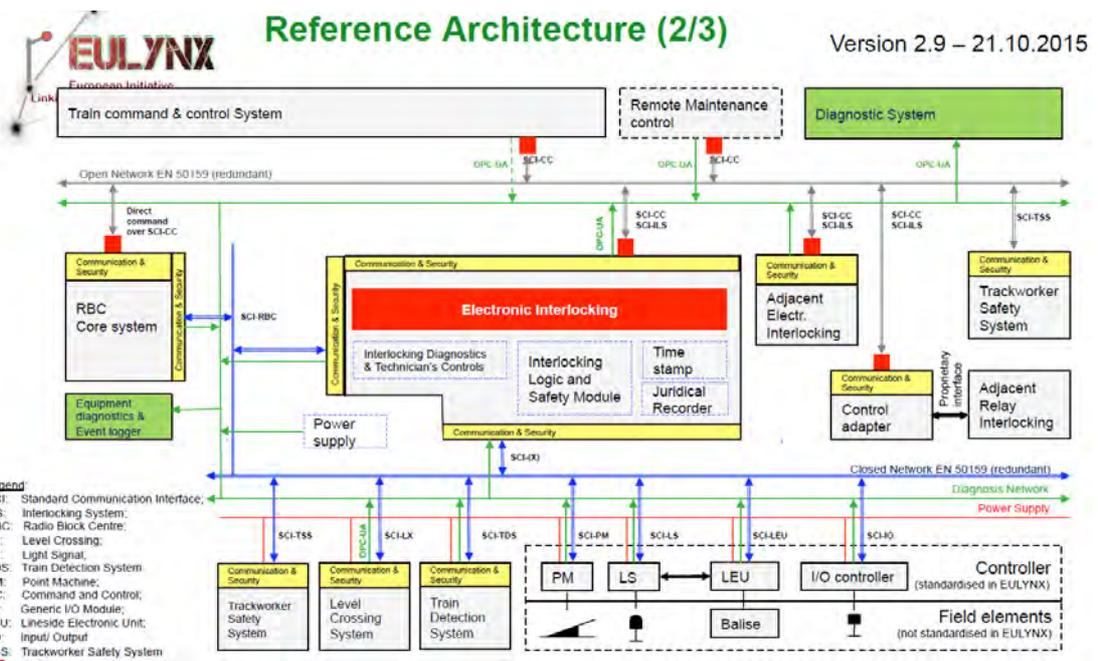


Illustration 13: architecture générale des futurs systèmes complets de signalisation selon le projet européen Eulynx (source : Eulynx en octobre 2015)

4.7.2.3. L'externalisation est souvent source de progrès.

Hors de France, l'industrie accomplit souvent une part bien plus importante des travaux de modernisation.

L'externalisation

Lorsque les Chemins de fer fédéraux (CFF) en Suisse ont confié à Siemens la charge d'équiper les lignes pour l'installation au sol de l'ERTMS (niveau 1LS), ils ont pressé Siemens de chercher une véritable industrialisation de l'intervention de ses techniciens, pour en diminuer de 70 % le coût (alors de 82 000 euros par signal). Grâce notamment au paramétrage, signal par signal, de tous les composants en usine, cela a été fait avec succès. Alors qu'auparavant 80 % de chaque installation était faite par les CFF et 20 % par l'industrie, la proportion a été renversée. Bien entendu, la responsabilité de Siemens a été bien plus lourde.

Ce constat d'une insuffisante externalisation pour les travaux de renouvellement a déjà été tiré par l'Inspection générale des finances et le CGEDD en juillet 2015 :

« Selon la fédération des industries ferroviaires (FIF), la part des activités sous-traitées aux industriels est plus faible en France dans un rapport de 1 à 5 avec l'Allemagne et de 1 à 3 avec la Suisse ou l'Italie. Selon les industriels, la partie accessible aux entreprises sur une opération de type régénération d'un poste d'aiguillage est en France de 30 à 40 % du volume des travaux, là où en Italie, en Allemagne ou au Royaume-Uni, 60 à 70 % des travaux sont sous-traités. L'enjeu actuel est de permettre aux entreprises de monter dans la chaîne de valeur tout en conservant à SNCF Réseau ses compétences pour réceptionner les chantiers. ».

L'extrême prudence de SNCF Réseau envers l'externalisation est d'autant plus surprenante que SNCF Réseau se plaint constamment de n'avoir pas assez d'experts. Ainsi l'insuffisance de personnel était-elle la première des causes présentées en

janvier 2018 par la Direction de la circulation de SNCF Réseau au président de SNCF Réseau pour expliquer les retards du projet CCR⁸⁷.

Selon la déclaration à la mission du CGEDD du président de SNCF Réseau le 12 juillet 2018, des progrès en cette matière sont possibles. Mais ils exigent un effort conjoint tant des équipes de SNCF Réseau que des industriels.

4.7.3. Le réexamen des procédures de sécurité est indispensable.

La mission du CGEDD a relevé que l'audit IMDM avait insisté sur l'importance de « *l'application à juste échelle des analyses MSC (Méthodes de sécurité commune principe de sécurité GAME⁸⁸)* ». L'audit a considéré que l'application par SNCF Réseau de ce principe n'était pas toujours correcte. Cela conduit à invalider de bonnes options techniques, ou à rendre économiquement impossible leur mise en œuvre.

En ce qu'il introduit des technologies nouvelles, le projet RHP est particulièrement exposé au risque de spécification excessive.

La bonne et la mauvaise application du GAME

La mission du CGEDD a été informée des difficultés actuellement affrontées pour comprendre l'origine de prescriptions relatives au calcul du freinage des TGV. Car elles diffèrent de la spécification sur l'ETCS. Elles ont été retenues au nom de l'application du principe GAME à la LGV Est européenne. À la fin du calcul, il avait été exigé « *à toutes fins utiles* », au détriment de la performance, 100 mètres supplémentaires sur la longueur du canton. De même, la mission a appris qu'au titre du GAME, il était envisagé d'intégrer à NExTEO une fonctionnalité coûteuse de « *conduite manuelle locale* » en mode CBTC, sans qu'on puisse comprendre comment l'absence de ce mode particulier serait vraiment risquée.

Par prudence, le principe GAME tel qu'il est appliqué par SNCF Réseau selon la directive RG 00042⁸⁹ et la préconisation RA 00282, conduit à ceci : pour couvrir un risque quelconque de sécurité ferroviaire, il faut en priorité rechercher l'application d'un référentiel déjà existant à la SNCF. Lorsqu'il externalise une fonction, SNCF Réseau impose à ses prestataires des qualifications⁹⁰ équivalentes à celle que le GI applique lui-même. Par exemple, la qualification 08230 « *Prestation de dépose/repose d'IES (Installations électriques de signalisation) sur chantier voie* » sera exigée de toute entreprise procédant à une pose ou une dépose. Selon la procédure de qualification, chaque agent de l'entreprise devra être personnellement habilité à la « *tâche essentielle de Sécurité D* » : « *Intervenir sur les composants critiques de l'infrastructure ferroviaire ayant un impact sur la sécurité des circulations* »⁹¹.

Rien ne permet d'affirmer que les installations électriques de signalisation qui vont être posées sur un chantier précis sont effectivement critiques. Dans l'exemple des agents de Siemens intervenant pour installer sur une ligne des CFF en exploitation des équipements ETCS de voie, l'analyse sommaire du risque montre que, dès lors que

⁸⁷ « *Causes de retards depuis 2010 : Problématiques ressources, notamment agents SE (rappel : dans le cas général de passage d'un poste ancien en CCR, # 70% de l'investissement est la régénération de la signalisation en campagne du poste, très consommatrice de main d'œuvre)* » (extrait de la note de Jacques Dupuy de janvier 2018 intitulée « *Le programme CCR : objectifs, avancement, retards, perspectives (note pour P. Jeantet)* »)

⁸⁸ globalement au moins équivalent

⁸⁹ RG 00042 Mise en oeuvre de la méthode de sécurité commune (MSC) - Gestion des changements concernant la sécurité de l'exploitation

⁹⁰ Cf Procédure Qualification et suivi des entreprises assurant des prestations liées à la sécurité des travaux ferroviaires GF01150 - 211217 - 04C

⁹¹ Cette tâche est fixée par l'arrêté du 7 mai 2015 relatif aux tâches essentielles pour la sécurité ferroviaire autres que la conduite de trains, avec les contraintes et les coûts de gestion correspondants.

leur intervention est limitée à la partie ATP, le risque d'une action contraire à la sécurité est normalement couvert sans exigence particulière⁹².

Les experts de SNCF Réseau sont habilités parce qu'ils peuvent être appelés à intervenir à tout niveau. Mais le renvoi systématique à leur référentiel d'habilitation résulte d'une application à mauvaise échelle du principe du GAME (cf. audit d'IMDM). Le principe « *qui peut le plus peut le moins* » est certes sécuritaire, mais il conduit souvent à des mesures inutiles et coûteuses. L'audit a proposé de confronter l'application du GAME à une approche systémique d'analyse des risques, en cohérence d'ailleurs avec la MSC.

La mission du CGEDD recommande que SNCF Réseau révise ses procédures de production, notamment celles relatives aux travaux sur voies circulées (dites S9). Il doit chercher à les simplifier. Il doit les numériser autant que faire se peut.

4.7.4. Le projet RHP doit être au cœur des enjeux sociaux de SNCF Réseau.

La modernisation de l'exploitation est un projet de longue haleine. Il changera profondément les métiers. Sous l'effet de l'automatisation et de l'externalisation, il sera au cœur du mouvement annoncé par le président de SNCF Réseau :

« d'ici 2026 10 à 15 % des postes du groupe public vont disparaître du fait de la digitalisation et 35 % voir leur contenu changer radicalement ».

Bien évidemment, SNCF Réseau devra préparer les modalités de formation et d'accompagnement de ses agents.

4.8. Le projet RHP doit comprendre les mesures propres à protéger les nouveaux systèmes (cybersécurité).

Le projet RHP est au cœur de la sécurité ferroviaire. Bien évidemment, il doit être protégé de toutes les attaques possibles. La **cybersécurité** est un aspect d'importance dans les études qui seront dirigées par SNCF Réseau.

⁹² Une erreur d'installation pourra conduire à une indisponibilité, mais pas à un accident. De plus, le paramétrage en usine réduit drastiquement la possibilité d'erreur.

Conclusion

L'exploitation a pâti depuis de longues années d'un manque d'investissement intellectuel au moins autant que financier. Cela a conduit le réseau français à disposer aujourd'hui d'appareils, de systèmes informatiques et de procédures qui ont souvent vingt ou trente ans de retard par rapport aux réseaux étrangers les plus modernes.

Comme en conviennent tous les experts et directeurs avec lesquels la mission du CGEDD s'est entretenue, parallèlement à la révision systématique des procédures d'exploitation (pour les rendre plus simples et moins onéreuses, notamment en les dégageant d'exigences de sécurité injustifiées), c'est l'ensemble des systèmes d'exploitation qui doivent être rapidement automatisés.

C'est le cadre du RHP proposé par SNCF Réseau. La mission du CGEDD considère qu'il doit être résolument soutenu par l'État.

Dans l'esprit de la lettre de commande du 4 juin 2018, la mission du CGEDD croit qu'il y aurait bien des avantages à ce que l'État suive de près la préparation et l'exécution du schéma de SNCF Réseau sur la transformation de l'exploitation ferroviaire. Ce schéma devra être prêt pour le 1^{er} janvier 2020, échéance du changement de statut, afin d'être pris en compte dans l'actualisation du contrat pluriannuel 2017-2026.

SNCF Réseau se prépare à débattre de la façon de préparer les opérations du projet RHP avec les AOT et les EF. Cela se fera dans le cadre de deux groupes de travail au sein du Comité des opérateurs du réseau (COOPERE), qui vont être officiellement institués en décembre 2018 (pour les LGV) et en février 2019 (pour les autres lignes). La Mission du CGEDD propose que l'État institue un autre lieu de travail et de concertation sous sa présidence. Y seraient associés notamment SNCF Réseau, Régions de France et l'Union des transports publics et ferroviaires (UTP). Il sera nécessaire aussi, à cette occasion, de bien coordonner la réflexion et l'action de tous les établissements et services publics.

Il importe aussi que l'État et SNCF Réseau s'attachent ensemble à mettre en lumière et en valeur le projet RHP. La signalisation est un sujet difficile à comprendre. L'effort d'explication et de vulgarisation doit être à la mesure de l'ambition française.

La mission du CGEDD présente la recommandation suivante :

9. Le ministère des transports doit soutenir publiquement le projet RHP et le schéma que SNCF Réseau préparera en 2019. Il doit superviser l'étude du schéma. Pour cela, il doit présider une instance de travail et de concertation avec les principales parties prenantes : SNCF Réseau, Régions de France et Union des transports publics et ferroviaires (UTP) notamment.

Denis Huneau



Ingénieur général
des ponts, eaux et forêts

Hervé de Tréglodé



Ingénieur général
des mines

Annexes

1. Lettre de mission



MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

MINISTÈRE CHARGÉ DES TRANSPORTS

Paris, le 04 JUIN 2018

La ministre chargée des transports

à

Madame la Vice-Présidente du Conseil général de
l'environnement et du développement durable

Objet : mission concernant l'amélioration des performances de l'exploitation du réseau ferroviaire

Dans le cadre qui sera défini par la loi pour un nouveau pacte ferroviaire en cours de débat parlementaire, il s'agit pour SNCF-Réseau, en lien avec ses partenaires, de se doter d'un projet industriel consistant à offrir dans les meilleures conditions aux opérateurs des sillons de qualité. Après de nombreux chantiers de modernisation, l'entreprise a pour projet, à travers une démarche appelée Haute Performance, d'intégrer au mieux dans son projet industriel la mutation des technologies des systèmes d'exploitation ferroviaire. Cette évolution est considérée par l'entreprise comme structurante. S'agissant d'un chantier de grande ampleur qui s'inscrit pleinement dans la construction de l'Europe du rail et qui concerne l'ensemble de la filière ferroviaire, il est important qu'au-delà des premiers projets lancés actuellement, cette modernisation puisse s'établir dans un projet d'ensemble adapté aux besoins et le plus pertinent sur le plan économique et industriel.

Le Conseil d'Orientation sur les Infrastructures, dans son rapport du 1^{er} février 2018, recommande dans cet esprit « que SNCF-Réseau fasse approuver un plan d'ensemble explicitant les objectifs poursuivis (en particulier les gains de capacité des zones les plus circulées, de fiabilité des circulations, de qualité des infrastructures modernisées, de productivité de l'exploitation), les zones du réseau concernées par ce plan, les délais et les principales étapes de réalisation. [...] Le Conseil est d'avis qu'il convient dès 2018 de réaliser sous l'égide de l'État une première étude de faisabilité d'un programme de modernisation de l'exploitation, dont seuls quelques principes généraux, très prometteurs, ont pu lui être présentés pour l'instant. Cette étude devrait intégrer les interactions avec le programme de régénération du réseau le plus prioritaire afin de maximiser les synergies entre les différentes actions de modernisation. »

Dans la perspective de l'élaboration d'un tel schéma par SNCF-Réseau, et afin de l'accompagner au mieux dans le lancement de cette démarche, je vous demande de conduire une mission destinée à :

- établir un bilan et un diagnostic des projets de modernisation de l'exploitation en cours et des démarches en cours d'élaboration.
- Analyser les options techniques envisagées, notamment en faisant la part de technologies aujourd'hui matures et des développements envisageables à plus long terme et en vous appuyant sur les dynamiques similaires en cours ou projetées dans divers pays. Il conviendra notamment d'examiner comment les déploiements envisagés dans la durée permettent de prendre en compte le rythme rapide des évolutions technologiques ;
- orienter les études nécessaires pour définir le schéma proposé. Il s'agira, pour que celui-ci puisse être, dès qu'il sera approuvé, pris en compte tant dans la stratégie industrielle de l'entreprise que dans la programmation des investissements :
 - d'identifier les points de vigilance à approfondir lors de son élaboration et notamment la formulation des objectifs visés et des indicateurs de résultats ;
 - de délimiter le niveau de précision des études et la nature des alternatives à envisager et les critères d'opportunité et de priorisation (coûts de renouvellement évités, réponse à des enjeux de saturation, report d'investissements de capacité, mais aussi, pour des réseaux moins structurants, allègement des coûts futurs) ;
- proposer une démarche d'élaboration du schéma permettant à SNCF Réseau de prendre en compte durant son élaboration les attentes et les interrogations des principales parties prenantes.

S'agissant d'éclairer en amont les enjeux de ce schéma, votre mission pourra utilement s'appuyer sur un groupe d'experts, groupe miroir réunissant quelques spécialistes reconnus, au sein de CGEDD mais aussi issus d'autres organismes qui seront proposés par SNCF Réseau et la DGITM. Vous bénéficierez de l'appui des services de la DGITM et de SNCF Réseau, et je vous demande de vous rapprocher de l'EPSF et de l'ARAFER en tant que de besoin.

Vous me remettrez vos propositions dans un délai de trois mois.

Merci mille fois
pour votre aide!
Amis

Pour la ministre et par délégation,
le directeur général des infrastructures, des
transports et de la mer.



François POUPARD

Copie à PA. ROCHE -

2. Les principes de la signalisation ferroviaire

Les trains ont besoin d'une grande distance pour s'arrêter. Très tôt au XIX^e siècle, dès que la vitesse des convois est devenue assez élevée, la difficulté du freinage et la nécessité de modifier si nécessaire, avant le passage d'un train, la position des aiguilles ont conduit toutes les compagnies ferroviaires à installer des signaux le long de leurs lignes pour prévenir suffisamment à temps les conducteurs qu'ils devaient ralentir ou s'arrêter.

La *signalisation* était née.

En 1930, le code Verlant a unifié en France les principes de la signalisation pour ce qui concerne les signaux le long des voies, afin de faciliter les circulations entre réseaux et d'élever le niveau de sécurité ferroviaire.

Sauf pour les très petites lignes, ces principes communs étaient fondés sur des cantons de voie commençant et finissant avec des signaux lumineux à trois couleurs. Grâce à ces signaux, les conducteurs savent toujours si le canton où ils vont entrer est libre, c'est-à-dire sans autre convoi en circulation ou à l'arrêt. Ils savent aussi si le canton suivant est occupé ou non par un train, ce qui leur permet de se préparer le cas échéant à s'arrêter à temps. C'est le système du **cantonement**, dit aussi block-système ou **block**.

La signalisation a continué de se moderniser après 1930 : block manuel, block automatique à permissivité restreinte (BAPR), block automatique lumineux (BAL), etc. En parallèle se sont développés les systèmes (circuits de voie, compteurs d'essieux) permettant de vérifier qu'un train sort en entier d'un canton, c'est-à-dire sans laisser derrière lui une voiture ou un wagon. C'est la vérification de l'*intégrité*. Hormis le cas des lignes à grande vitesse (LGV), et celui des très petites lignes, la signalisation est restée fondée sur les cantons et les signaux latéraux. Dans le cas des LGV, le cantonnement reste aussi de règle, quoique les signaux aient été remplacés dès 1981 par des affichages en cabine de conduite. Parallèlement, les postes qui commandent les aiguilles et les centres de régulation qui supervisent et ordonnent les circulations ont été peu à peu modernisés et automatisés. Mais les règles et procédures les plus fondamentales n'ont pas été modifiées. Parallèlement, on s'est attaché à améliorer la répartition des sillons et des plages-travaux, préalable indispensable aux circulations.

Ailleurs en Europe, les évolutions ont été semblables, mais avec des systèmes de signalisation très souvent différents. **L'Europe est devenue une mosaïque de systèmes de signalisation.**

Depuis longtemps, comme les autres pays européens, la France projette de remplacer la signalisation par cantonnement et signaux latéraux par une signalisation qui coûte moins cher, qui élève la sécurité ferroviaire, qui guide mieux les trains. En d'autres termes, une signalisation qui permette des circulations moins onéreuses, plus sûres, plus denses et plus régulières. Car au regard de la régularité et des coûts, la situation actuelle en France est sans conteste mauvaise, comme l'a rappelé notamment le *Comité international d'experts ferroviaires*, constitué à la demande de la SNCF, dans son rapport sur la robustesse du 7 juillet 2017.

Alors que plusieurs pays européens travaillaient indépendamment à ce sujet, la Commission européenne, en concertation étroite avec l'industrie ferroviaire, a préparé et fait approuver, il y a une vingtaine d'années, un système commun de contrôle automatisé des trains : c'est l'**ETCS** (*European Train Control System*). L'ETCS est un système de type ATC (*Automatic Train Control*) pour automatiquement diminuer la

vitesse des trains en cas de danger, et de type ATP (*Automatic Train Protection*⁹³) pour vérifier à tout moment la bonne vitesse des trains et les arrêter automatiquement en cas de nécessité. L'ETCS remplace les signaux de la signalisation du XIX^e et du XX^e siècle. **L'ETCS assure le bon espacement des trains, mais ce n'est pas un système de commande des enclenchements⁹⁴ par les postes d'aiguillage et les centres de régulation.** L'ETCS agit grâce à des communications par radio, qui sont portées en Europe par le système GSM-R (*Global System for Mobile Communications – Railways*). L'ensemble ETCS et GSM-R est appelé ERTMS (*European Rail Traffic Management System*).

Il existe **trois niveaux d'ETCS**, selon le degré de performance. Au niveau 1, les signaux sont remplacés par des balises au sol (dites *Eurobalises*) qui échangent les données utiles par radio avec le train lors de son passage. Au niveau 2, les données sont, par radio, recueillies des lignes ferroviaires et transmises aux trains par un centre radio de block (*Radio Block Center* ou RBC). Au niveau 3, qui reste à déployer en Europe, il n'y a plus de cantons : chaque train règle sa vitesse et son freinage sur les trains qui le précèdent. Pour les niveaux 2 et 3, les transmissions par radio sont faites sous GSM-R. Insatisfaites des performances envisagées pour le niveau 3, plusieurs réseaux européens (Italie, Royaume-Uni, etc.) étudient un niveau différent, entre le 2 et le 3, appelé souvent « *niveau 3 hybride* ».

Désormais, tous les pays membres de l'Union européenne doivent définir un **plan national de déploiement de l'ERTMS** (*National Implementation Plan* ou NIP en anglais), conformément au règlement de la Commission européenne du 27 mai 2016⁹⁵. La Commission européenne a précisé les conditions du déploiement européen dans son document de travail du 14 novembre 2017 appelé « *Delivering an effective and interoperable European Rail Traffic Management System (ERTMS) – the way ahead* ».

⁹³ en français, *système de protection automatique de train* (qui donne notamment aux trains les vitesses autorisées)

⁹⁴ Un enclenchement (*interlocking* ou *IXL* en anglais) est un dispositif qui interdit la manœuvre d'un signal ou d'un appareil de voie (aiguille) dans des conditions incompatibles avec la sécurité. Il y a plusieurs types d'enclenchement : enclenchement d'approche, enclenchement de parcours, enclenchement de transit, enclenchement de parcours banalisé, enclenchement de voie unique, enclenchement de voie de stationnement, enclenchement de sens.

⁹⁵ règlement (UE) 2016/919 de la Commission 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

3. L'automatisation des opérations de conduite des trains

Pour la conduite plus ou moins automatisée des trains, la modernisation se fait avec des systèmes appelés ATO (*Automatic Train Operation*).

Les circulations urbaines ou périurbaines peuvent être régies par des projets particuliers d'automatisation de la conduite. Le plus souvent, il s'agit de l'un ou l'autre des systèmes de « *gestion des trains basée sur la communication* » (*Communication Based Train Control* ou CBTC), objet de la norme IEEE 1474 de 1999⁹⁶.

L'illustration ci-dessous rappelle les quatre niveaux d'automatisation pour la conduite des trains sur les lignes de métro. L'automatisation complète (niveau GoA 4) y est appelée *Unattended Train Operation* (UTO).

Grade of Automation	Type of train operation	Setting train in motion	Stopping train	Door closure	Operation in event of Disruption
GoA 1 	ATP with driver	Driver	Driver	Driver	Driver
GoA 2 	ATP and ATO with driver	Automatic	Automatic	Driver	Driver
GoA 3 	Driverless	Automatic	Automatic	Train attendant	Train attendant
GoA 4 	UTO	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic

ATP - Automatic Train Protection ATO - Automatic Train Operation

Illustration 14: les quatre niveaux d'automatisation des lignes de métro (source : UITP)

Pour le métro parisien, c'est le cas des lignes 3, 5, 9, 10 et 12 (système Octys), de la ligne 13 (Ouragan), des lignes automatiques 1 et 14 (SAET). Pour le RER géré par la SNCF en Île-de-France, ce sera le cas du prolongement de la ligne E vers l'ouest en 2023 (système NExTEO).

En partenariat avec la RATP, le système NExTEO est appelé à s'étendre en Île-de-France pour les lignes les plus lourdes.

Tandis qu'on hésite encore à parler de trains entièrement automatiques ou autonomes sur la plupart des grandes lignes, on prépare ou exécute partout dans le monde des automatisations totales pour les lignes de métro (surtout pour les nouvelles lignes, comme en Chine), et des automatisations partielles pour les lignes denses de type RER.

⁹⁶ *Le CBTC n'est pas prévu dans les textes européens (directive 2008/57 et spécifications techniques d'interopérabilité/STI et autres subsets ERTMS/ETCS). De ce fait, NExTEO a été autorisé en tant que système de Classe B et sera mis en œuvre comme une STM (Specific Transmission Module), c'est-à-dire un module compatible avec le cœur ERTMS/ETCS mais avec un contrôle de vitesse selon un cantonnement mobile et avec un niveau de performance requis pour le réseau ferroviaire français. ».*

4. ETCS, pivot de la numérisation de l'exploitation ferroviaire

4.1. ERTMS est un système moderne répondant à une exigence d'interopérabilité....

ETCS (*European Train Control System*) est la composante pour la signalisation⁹⁷ du système européen de gestion du trafic ferroviaire ERTMS (*European Rail Traffic Management System*).

Projet porté dès 1993 par l'Union européenne, l'ERTMS a pour objectif de développer l'interopérabilité en supprimant l'obstacle des systèmes de signalisation propres à chaque réseau. Il a aussi vocation à améliorer la capacité des réseaux par une technologie efficace, et enfin, à diminuer les coûts de possession de la signalisation par une harmonisation des systèmes à l'échelle européenne.

Le principe de base de l'ETCS est la généralisation de la signalisation en cabine⁹⁸. Le conducteur dispose de l'ensemble des informations de conduite sur un pupitre (DMI, *Driver Machine Interface*) standardisé. Il n'a plus à se référer à la signalisation latérale implantée au sol, qui n'est plus nécessaire. Les informations sont transmises par radio, soit ponctuellement (niveau 1), soit de manière continue (niveau 2)⁹⁹. La suppression de la signalisation latérale, au profit d'une information en cabine, devient possible dès que tout le matériel roulant est équipé d'ERTMS.



Illustration 15: affichage en cabine de conduite d'ETCS (source : EPSF)

L'ETCS intègre des fonctions de contrôle de vitesse sécuritaire (ATP), plus ou moins complètes selon le niveau de l'équipement.

Le niveau 1 peut être installé en parallèle du système national, en équipant les signaux existants. Une balise (*Eurobalise*) ou une boucle (*Euroloop*) placée en amont ou au pied d'un signal, reliée à celui-ci par une unité électronique latérale (LEU), transmet via l'antenne balise embarquée ses données au train. Le calculateur de bord (EVC, *European Vital Computer*) prend en charge le train s'il ne respecte pas la consigne

⁹⁷ Les deux autres composantes sont le GSM-R, système de télécommunication ferroviaire, utilisé aussi par ETCS Niveau 2 comme canal des informations entre le bord et le sol, et, en principe, le TMS (*Traffic Management System*), qui n'a à ce jour jamais été spécifié complètement.

⁹⁸ Elle est depuis toujours utilisée pour les circulations à vitesse supérieure à 220 km/h, pour des raisons de sécurité.

⁹⁹ Un niveau 3, encore à l'état de développement, est prévu, qui supprime les cantons.

transmise. Si le train n'est pas équipé d'ETCS (ainsi que pour le niveau 1 LS¹⁰⁰ pour lequel le DMI n'assure qu'une fonction de répétiteur des signaux équipés), le conducteur continuera de se référer à la signalisation latérale.

Le niveau 2 complète le niveau 1 en apportant des échanges d'information permanents entre le sol et le bord¹⁰¹, permettant un recalcul permanent des courbes de vitesse-limite et un contrôle continu du train. L'information de signalisation n'est plus transmise par balise depuis le signal, mais par radio depuis un RBC (*Radio Block Center*) directement interfacé avec le poste d'enclenchement. Les balises continuent néanmoins d'être utilisées, mais pour la localisation des trains. En cas de superposition avec une signalisation latérale, maintenue pour les trains non équipés, celle-ci est effacée *ponctuellement* à l'approche des trains équipés d'ETCS.

4.2. mais dont la difficulté de mise au point...

Bien qu'annoncé dès 1993, l'ERMS n'équipe encore qu'un faible nombre de lignes. Fin 2017, en dehors du réseau suisse presque entièrement équipé, principalement au niveau 1 LS, seule la partie belge du RTE-T (les principales lignes du réseau européen) dépasse un taux d'équipement de 10 %.

Techniquement, l'instabilité et l'incomplétude¹⁰² des spécifications d'ERTMS, qui a été lancé avec de nombreux *points ouverts* non résolus, ont découragé sa mise en œuvre.

Versions successives des spécifications d'ETCS

Prévu par la directive 96/48/CE, le système ERTMS a fait l'objet d'un premier jeu de spécifications publié sous forme d'une *Baseline 1* en 1999. Cette version n'a eu aucun caractère obligatoire.

La première version officiellement rendue obligatoire en 2002, pour les seules lignes à grande vitesse a été le jeu de spécifications SRS 2.2.2¹⁰³. A partir de 2004¹⁰⁴, l'obligation d'équipement a été étendue aux lignes conventionnelles, avec un jeu de spécifications adapté, qui n'a été adopté qu'en 2006 (le SRS 2.2.2 « + »¹⁰⁵), pour être modifié en 2007 (SRS 2.3.0¹⁰⁶). Cette version a été appliquée en fait sous la forme SRS 2.3.0d amendée et publiée par l'ERA en avril 2008, qui est devenue la *Baseline 2*. Pour autant, un certain nombre de *points ouverts* n'étaient pas traités, et ont fait l'objet de spécifications complémentaires modificatives entre 2008 et 2010^{107,108,109}.

¹⁰⁰ Le niveau 1 LS (*Limited Supervision*), introduit en 2005, assure la seule fonction ATP en conservant nécessairement la signalisation latérale.

¹⁰¹ via le GSM-R ou le GPRS

¹⁰² reconnues comme « *des erreurs et interprétations fautives* » dans les considérants du règlement (UE) 2017/6 du 5 janvier 2017 relatif au plan européen de déploiement

¹⁰³ cf. décision 2002/731 du 30 mai 2002 remplaçant et complétant la décision 2001/260/EC du 21 mars 2001 fixant les caractéristiques principales d'ERTMS, rectifiée par corrigendum du 11 octobre 2002

¹⁰⁴ cf. décision 2004/447/CE du 29 avril 2004 modifiant l'annexe A de la décision 2002/731/CE, rectifiée par corrigendum du 1^{er} juin 2004

¹⁰⁵ cf. décisions 2006/679 du 28 mars 2006 pour le rail conventionnel et 2006/860/CE du 7 novembre 2006 pour les lignes à grande vitesse

¹⁰⁶ cf. décision 2007/153/CE du 6 mars 2007 modifiant les décisions 2006/679/CE et 2006/860/CE

¹⁰⁷ cf. décision 2008/386 du 23 avril 2008 modifiant les décisions 2006/679/CE et 2006/860/CE

¹⁰⁸ cf. décision 2009/561 du 22 juillet 2009 modifiant la décision 2006/679/CE

¹⁰⁹ cf. décision 2010/79 du 19 octobre 2009 modifiant les décisions 2006/679/CE et 2006/860/CE

Afin de d'intégrer le niveau 1 LS, plus économique, et dans le but de stabiliser la démarche vers une Baseline 3, une nouvelle spécification approuvée en 2012, qualifiée de *Baseline 3 Proposal*, le SRS 3.3.0, a été approuvée en 2012¹¹⁰, puis complétée pour intégrer l'exigence d'une compatibilité avec le sol équipée en Baseline 2¹¹¹, enfin modifiée en 2015 SRS 3.4.0¹¹² et en 2016 SRS 3.6.0¹¹³.

Cette dernière version est la Baseline 3. Elle est considérée comme devant être stable. C'est en tout cas l'objet du protocole signé par l'ensemble du secteur européen en septembre 2016.

Par exemple, au Danemark, le déploiement de l'ERTMS, voté par le parlement national en 2009 pour 2021, ne devrait être achevé qu'en 2030. La difficulté se concentre sur l'équipement des matériels, la différence entre la version 3.3.0 envisagée et 3.6.0 retenue étant présentée comme une cause principale du retard par Alstom, le fournisseur.

De même, en Suisse, en mai 2016, les locomotives Traxx de Bombardier (un des modèles les plus répandus en Europe) ont été temporairement interdites sur l'axe du Gothard en raison d'une incompatibilité de leur logiciel de bord avec le sol Siemens, tous deux pourtant certifiés et de même version 2.3.0.d, provoquant des bugs aléatoires se soldant par des freinages d'urgence.

Plus généralement, en 2017, la Cour des comptes européenne relevait que sur un panel de projets pourtant théoriquement financés, 31 % ont été terminés avec du retard ou livrés à un niveau fonctionnel réduit, 43 % étaient toujours en cours et 26 % ont été abandonnés.

4.3. ...et les contraintes économiques ont été sous-estimées.

L'absence de modèle économique ne se prête pas un déploiement généralisé.

Dans l'idée de ses concepteurs, le niveau 1 d'ETCS aurait dû permettre une transition progressive du réseau conventionnel. Après avoir équipé une ligne en niveau 1, le GI aurait attendu qu'au fil des années les matériels équipés d'ETCS y circulant soient suffisamment nombreux pour décider au moment opportun de retirer son système historique, et si nécessaire d'évoluer vers le niveau 2. Les matériels non encore équipés auraient alors été transférés, pour circuler sur des lignes disposant du système ancien. Mais ce schéma de transition n'a pas fonctionné pour les grands pays disposant déjà de systèmes de signalisation récents et performants, en particulier l'Allemagne, la France et les Pays-Bas. Et n'a été réalisé en fait que par la Suisse.

En effet, l'équipement en niveau 1 n'apporte aucun gain fonctionnel. Pour les lignes à grande vitesse, le niveau 1, à transmission ponctuelle, est même moins performant que les systèmes existants comme la TVM en France et le LZB en Allemagne à transmission continue. Et il nécessite des investissements importants, inutiles tant que les systèmes nationaux ne sont pas amortis, et des coûts d'entretien supplémentaires, sans que, sauf exception (zones frontalières), il existe une demande de circulation de véhicules non équipés du système national.

Les pays dont les systèmes de signalisation étaient obsolètes (Belgique, Danemark, Luxembourg, Norvège, etc.) se sont engagés dans des projets de déploiement ambitieux. Mais dans la plupart des autres pays, seules les lignes

¹¹⁰ cf. décision 2012/88 du 25 janvier 2012

¹¹¹ cf. décision 2012/696 du 7 novembre 2012

¹¹² cf. décision 2015/14/EU du 5 janvier 2015

¹¹³ cf. règlement 2016/919/EU du 27 mai 2016

nouvelles, notamment les lignes à grande vitesse (dès 2005 en Italie et en Espagne) pour lesquelles cet équipement a été rendu obligatoire en 2002, ont été équipées de l'ETCS. En 2006, la France a esquissé auprès de la Commission européenne¹¹⁴ un plan de déploiement sur lignes anciennes de 1 200 km d'ici 2013 et de 2 200 km d'ici 2018 ; mais il n'y a eu alors aucune suite. De même en Allemagne et au Royaume-Uni.

L'ERTMS ne spécifiant que l'interface sol-bord et quelques constituants d'interopérabilité, des solutions techniques propres ont été développées par chaque fournisseur, ce qui n'a pas induit les effets d'échelle attendus.

L'équipement du réseau suisse en ETCS

Le réseau suisse est le seul réseau européen entièrement équipé en ETCS, ce depuis fin 2017. Située sur le principal corridor de fret européen (le corridor A) et reliée ferroviairement par ses voisins, la Suisse est particulièrement sensibilisée aux enjeux d'interopérabilité. Bien que non membre de l'UE, elle est associée aux travaux de l'ERA.

Sauf pour les lignes où la vitesse est supérieure à 160 km/h, notamment le tunnel du Gothard, cet équipement est réalisé au niveau 1. Pour cela, les CFF ont obtenu la modification de la spécification ERTMS par la Commission européenne pour intégrer le niveau 1LS (*Limited Supervision*), décidé officiellement en 2012.

Dans ce mode, l'ETCS remplit les fonctions d'un contrôle de vitesse (ATP), en superposition de la signalisation latérale classique, sans qu'il y ait besoin d'équiper tous les signaux. Les fonctions de ce contrôle de vitesse sont adaptées à la situation de chaque signal (du contrôle du respect d'une courbe de vitesse en amont du signal fermé au déclenchement du frein d'urgence en cas de franchissement). Grâce à cette possibilité d'équiper au juste nécessaire, le plan officiellement lancé en 2011 a pu être mené à terme en cinq ans environ, et le montant investi limité à 620 millions de francs suisses pour l'ensemble du réseau.

Parallèlement, et depuis 2006, les véhicules sont équipés de l'ETCS, avec l'objectif qu'en 2025 tout engin moteur en dispose.

Constatant cette difficulté d'initialisation du déploiement de l'ETCS, la Commission européenne avait souhaité mettre en place un dispositif réglementaire plus énergique, en instituant un plan d'équipement « *impératif* »¹¹⁵ sur le réseau existant. En s'appuyant sur l'outil juridique des corridors de fret, la Commission avait ainsi défini en 2009¹¹⁶ un « *plan de déploiement européen* » précisant pour six corridors stratégiques, choisis selon le volume de trafic, les lignes à équiper d'ici 2020, avec une première phase d'ici 2015.

Mais dès 2013, il est apparu que ce calendrier ne serait pas tenu. Cette décision n'apportait en fait aucune réponse décisive aux problèmes rencontrés.

4.4. ETCS a trouvé un second souffle avec le renouveau technologique.

Cet échec a entraîné une remise en question du processus. Il s'en est ensuivi une profonde refonte de la gestion européenne de l'ERTMS pour parvenir à un meilleur alignement des intérêts des différentes parties prenantes. Les principes essentiels en

¹¹⁴ cf. https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/national_implementation_plan_france_0.pdf

¹¹⁵ En réalité dans le cadre légal en vigueur, il n'est pas possible à la Commission européenne d'imposer des dépenses d'investissement à un État membre contre son souhait. Ce principe, qui est maintenant rappelé explicitement au 2^e alinéa de l'article 2 du règlement (UE) 2017/6 du 5 janvier 2017 relatif au plan européen de déploiement, explique pourquoi le non-respect du calendrier prétendument impératif n'a pas été sanctionné.

¹¹⁶ mais transcrit officiellement plus tardivement dans la décision 2012/88 du 25 janvier 2012 (au point 7)

ont été posés par le protocole de septembre 2016¹¹⁷ qui a permis de convenir des règles suivantes :

- tout véhicule équipé d'ETCS (Baseline 3) devra pouvoir circuler sur toute ligne équipée, existante ou à venir (compatibilité de versions) ;
- toute « *correction* » de spécification décidée au niveau européen sera réalisée gratuitement par les fournisseurs (incitation à la rigueur) ;
- la mise en œuvre des innovations majeures (*game changers*) attendues ne devra pas faire obstacle à la circulation de véhicules équipés plus anciens.

Dans ce cadre, la version dite « *Baseline3* » des spécifications a été approuvée. A été publié un nouveau règlement¹¹⁸ pour organiser le déploiement sur le réseau central, toujours dans l'objectif d'un équipement complet en 2030 sur le réseau central, mais sur la base de contributions « *engageantes* »¹¹⁹ de chaque État se limitant à une première phase en 2023. Le contenu de la seconde phase entre 2024 et 2030 devra faire l'objet d'un complément en 2022.

Il faut relever dans ce plan la proposition de l'Allemagne. Pour la première fois, les Allemands équiperont une section-clé du réseau ancien, avec l'ensemble du corridor A (rive droite du Rhin) pour le fret, démontrant ainsi une confiance nouvelle dans l'ETCS.

Le secteur ferroviaire européen partage désormais l'idée que l'ERTMS peut être considéré comme le pilier de la « *digitalisation du chemin de fer* »¹²⁰. C'est grâce notamment à la perspective d'innovations majeures (ATO, niveau 3 hybride de l'ERTMS, ERTMS régional), développées notamment dans le programme d'innovation n° 2 *Advanced Traffic Management and Control Systems* de l'initiative *Shift2Rail*. Ces innovations peuvent offrir une meilleure capacité et une fiabilité accrue, tout en restant totalement compatibles avec des véhicules équipés de l'ERTMS au niveau 2.

C'est ainsi que l'ERA s'est engagée dans des travaux sur une spécification d'ATO sur ERTMS. L'agence européenne a récemment présenté sa vision du futur¹²¹. Dans une communication, le directeur exécutif de l'ERA considère qu'avec les extraordinaires évolutions technologiques qui ne pouvaient être connues il y a vingt-cinq ans, il est désormais nécessaire de réviser la philosophie de déploiement d'ERTMS. Il faut « *mieux prendre en compte toutes les opportunités technologiques* » en migrant le plus tôt possible vers un « *niveau 4.0* » comportant le moins d'actifs physiques pour éviter des coûts irrécupérables.

¹¹⁷ cf. *Memorandum of Understanding between the European Commission, the European Union Agency for Railways and the European rail sector associations (EIM, EPTTOLA, ERFA, the ERTMS Users Group, GSM-R Industry Group, UIC, UNIFE and UNISIG)*

¹¹⁸ cf. règlement (UE) 2017/6 du 5 janvier 2017 relatif au plan européen de déploiement du système européen de gestion du trafic ferroviaire

¹¹⁹ *National Implementation Plan (NIP)*

¹²⁰ cf. *Joint Rail Sector Declaration on Digitalisation of Railway* du 9 novembre 2017 (CER, EIM, ERFA, UIP, UITP et UNIFE)

¹²¹ cf. *Command and Control 4.0* (Josef Doppelbauer, juin 2018)

5. Les projets de trains autonomes

S'agissant de l'ATO hors d'Île-de-France, l'oubli de SNCF Réseau dans sa définition actuelle du projet RHP est d'autant plus surprenant que la SNCF travaille à un projet plus ambitieux que ne le demandent (sauf circulations locales) les EF¹²² : celui du *train autonome*. Le 12 septembre 2018, elle a publiquement présenté un planning de développement et déploiement des trains totalement autonomes, mais aussi partiellement autonomes :



Illustration 16: développement et déploiement par la SNCF des trains téléconduits et, en tout ou en partie, autonomes (source : SNCF en septembre 2018)

La photographie ci-dessous montre un train de la société minière Rio Tinto en Australie-Occidentale, à conduite automatique (sans aucun agent à bord), le 10 juillet 2018. Le convoi expérimental était chargé de 28 000 tonnes de minerai de fer. Il a parcouru 280 km environ de la mine de Mount Tom Price au port de Cape Lambert. La supervision était faite à Perth, 1 500 km plus loin. Les circulations régulières en mode autonome de Rio Tinto commenceront vers la fin de 2018.

¹²² SNCF Mobilités, s'agissant des TGV comme des convois de fret, a ainsi fait savoir à la Mission du CGEDD que faire circuler un train à longue distance sans conducteur n'avait presque aucun intérêt économique.



Illustration 17: train autonome de 28 000 tonnes de Rio Tinto en Australie-Occidentale le 10 juillet 2018, sans agent à bord (source : Rio Tinto)

6. Les scénarios étudiés pour le déploiement d'ERTMS en 2016

En collaboration avec la Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM), la SNCF a étudié l'économie **pour SNCF Réseau et SNCF Mobilités** (sans les autres EF) de six scénarios de déploiement de l'ERTMS sur les lignes anciennes en France avant 2032.

Le rapport a été terminé le 28 avril 2016¹²³. Les auteurs ont exclu la solution de l'équipement au niveau 1 (*Full Supervision*¹²⁴) de l'ERTMS, en raison de *valeurs actuelles nettes* (VAN) bien trop basses.

Les six scénarios étudiés sont :

- le scénario A de 2 089 km (468 km au niveau 1, 302 km au niveau 2 avec signalisation latérale et 1319 km au niveau 2 sans signalisation latérale), avec 1 600 engins de SNCF Mobilités et 462 de SNCF Réseau à équiper en ETCS, donnant une **VAN de – 976 millions d'euros (dont – 546 millions d'euros pour SNCF Mobilités)**,
- le scénario B de 2 345 km (468 km au niveau 1, 302 km au niveau 2 avec signalisation latérale et 1575 km sans signalisation latérale), avec 1 203 engins de SNCF Mobilités et 462 engins de SNCF Réseau à équiper en ETCS, donnant une **VAN de – 1 007 millions d'euros (dont – 583 millions d'euros pour SNCF Mobilités)**,
- le scénario C de 2 947 km (817 km au niveau 1, 302 km au niveau 2 avec signalisation latérale et 1 832 km sans signalisation latérale), avec 1 419 engins de SNCF Mobilités et 462 engins de SNCF Réseau à équiper en ETCS, donnant une **VAN de – 1 120 millions d'euros (dont – 629 millions d'euros pour SNCF Mobilités)**,
- le scénario D de 2 655 km (569 km au niveau 1, 302 km au niveau 2 avec signalisation latérale et 1 785 km sans signalisation latérale), avec 1 412 engins de SNCF Mobilités et 462 engins de SNCF Réseau à équiper en ETCS, donnant une **VAN de – 1 058 millions d'euros (dont – 617 millions d'euros pour SNCF Mobilités)**,
- le scénario E, qui est le scénario A avec le maintien partout de la signalisation latérale, donnant une **VAN de – 268 millions d'euros (dont 0 million d'euros pour SNCF Mobilités)**,
- le scénario F, qui est le scénario A avec le maintien partout de la signalisation latérale, mais sans les sections de ligne Lyon – Ambérieu et Dijon – Modane, et avec la section de ligne Marseille – Vintimille, donnant une **VAN de – 245 millions d'euros (dont 0 million d'euros pour SNCF Mobilités)**.

Dans les scénarios A, B, C et D où l'on dépose souvent la signalisation latérale, un peu plus de la moitié de la VAN négative est causée par l'équipement en ETCS des matériels roulants de SNCF Mobilités.

Un bilan intermédiaire a été présenté à la DGITM par la SNCF le 27 octobre 2017. C'est le bilan 3 bis. Il est intéressant, car il prévoit une dépose immédiate de la signalisation latérale (avec par conséquent beaucoup de *retrofit* du matériel roulant), ainsi qu'un budget de renouvellement plus ambitieux (mais néanmoins « réaliste ») que celui du *contrat pluriannuel 2017-2026*, comme le montre l'illustration ci-dessous :

¹²³ Le rapport a pour titre : « ERTMS – Déploiement sur les lignes classiques du réseau ferré national ».

¹²⁴ Le *Full Supervision* associe un contrôle de vitesse de sécurité superposé à la signalisation latérale et une signalisation de cabine.

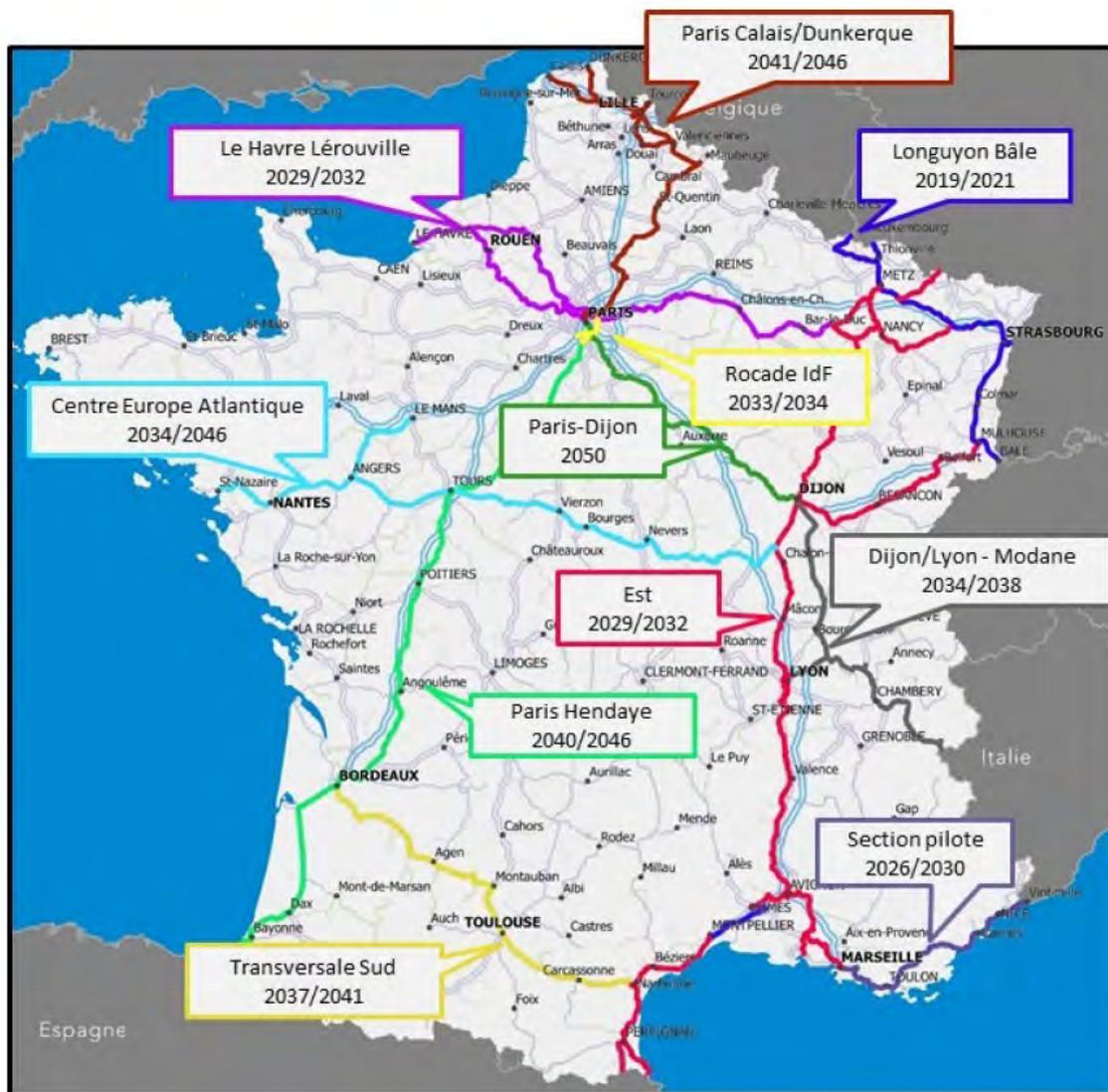


Illustration 18: scénario 3 bis (source : SNCF Réseau le 27 octobre 2017)

La *valeur actuelle nette* (VAN) de ce scénario est de – 300 millions d’euros pour SNCF Réseau, pour un déploiement qui s’étirerait jusqu’en 2050.

7. Cartes des lignes UIC n° 1 à 9 du réseau ferré national

Carte du réseau ferré national

Le réseau est segmenté, pour les fins de maintenance, en groupes, dits « groupes UIC », allant de 2 à 9, selon le tonnage qui y circule. Ainsi, sur une voie du groupe 2 circulent en moyenne chaque année 20 millions de tonnes, alors que les voies du groupe 9 ne voient pas passer plus de 500.000 tonnes. La longueur actuelle du réseau exploité est la suivante :

km	2	3	4	2 à 4	5	6	5 et 6	2 à 6	7 à 9	2 à 9
lignes	593	4.164	3.966	8.722	3.677	3.153	6.830	15.552	13.899	29.451
voies	2.306	8.496	8.515	19.318	7.908	5.765	13.673	32.991	15.860	48.851

La carte suivante présente ces groupes avec les couleurs suivantes :

- noir : groupe 2
- bleu : groupe 3
- rouge : groupe 4
- vert : groupes 5 et 6
- *jaune : groupes 7 à 9. Cette partie du réseau ne fait l'objet d'aucune politique de régénération.*

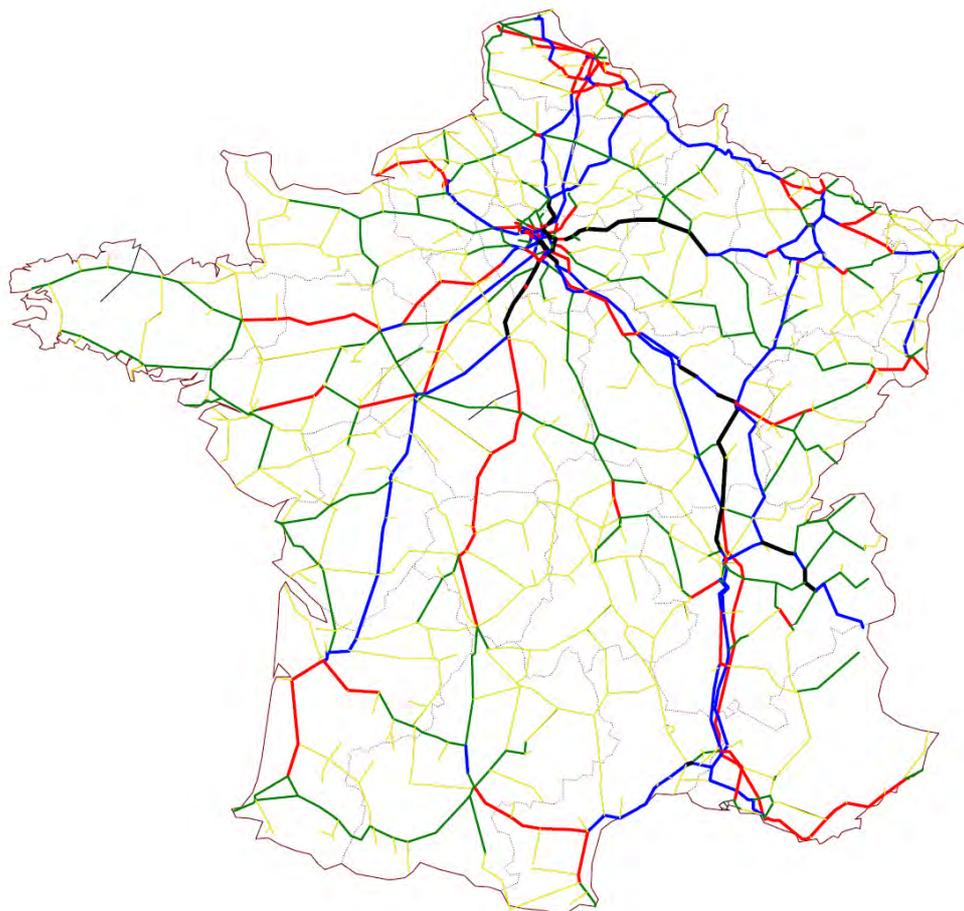
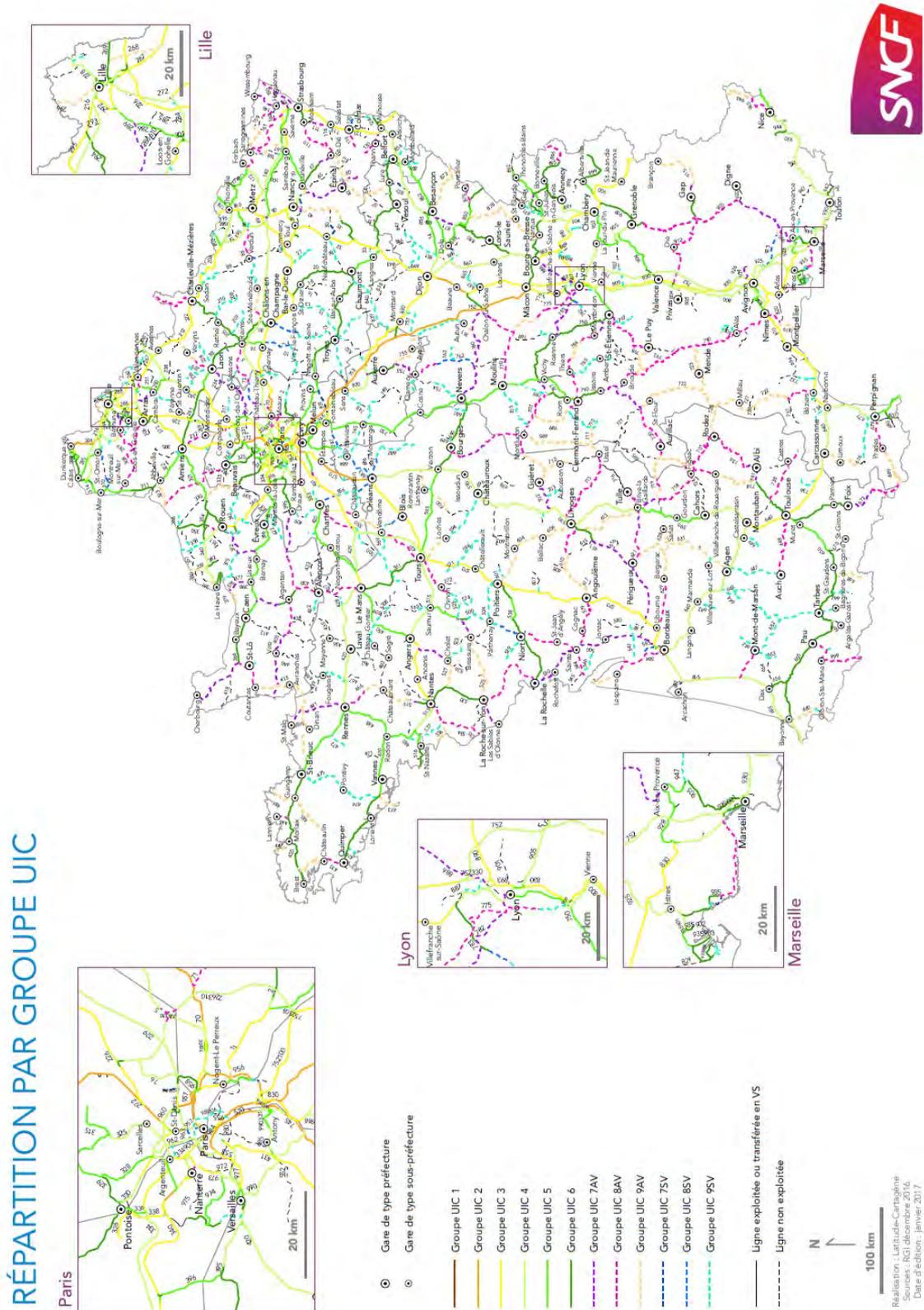


Illustration 19: lignes UIC du réseau ferré (source : WK Transport Logistique en 2004)

La carte ci-dessous de SNCF Réseau est bien plus récente (2016), mais plus difficile à lire.



8. Ponctualité des trains de voyageurs en 2014 en Europe et au Japon

Selon l'Autorité de la qualité de service dans les transports (AQST) en France, la ponctualité des trains de voyageurs dans douze pays européens et au Japon en 2014 est donnée par le graphique ci-dessous (extrait du site de l'AQST). La France y apparaît parmi les trois plus mauvais pays.

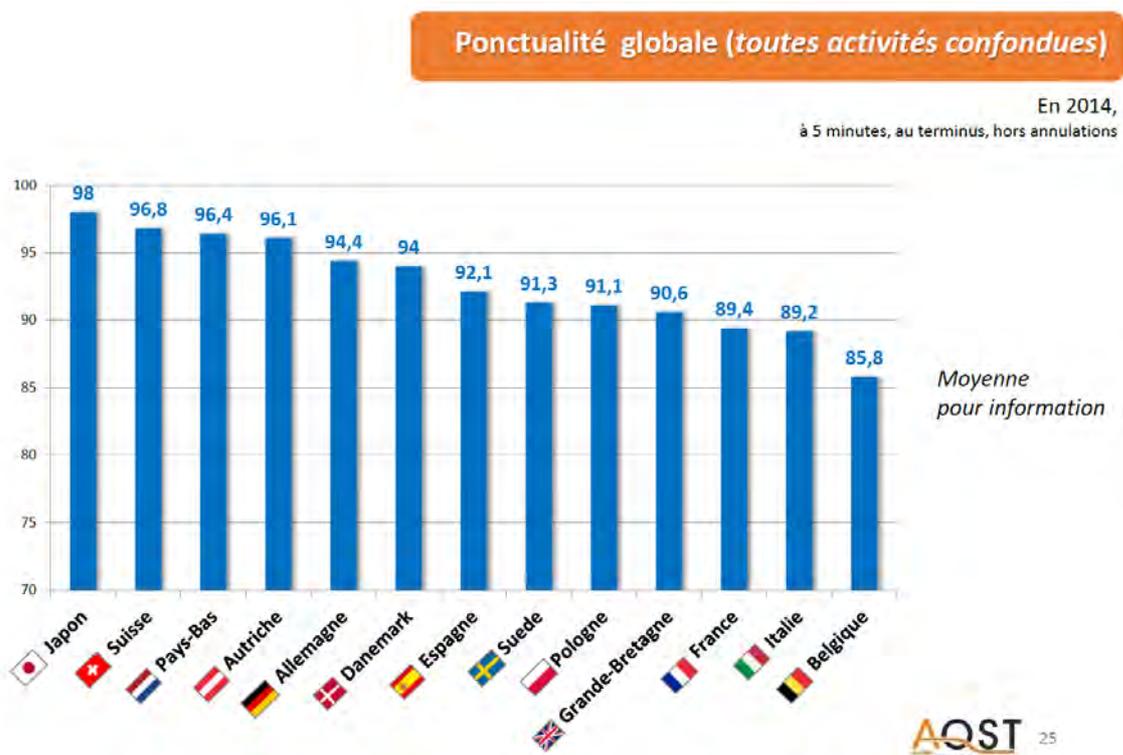


Illustration 20: ponctualité des trains de voyageurs dans treize pays (source : AQST)

9. La diminution des coûts du projet RHP

La présente annexe présente **les pistes** pouvant conduire à une diminution des coûts d'investissement et de fonctionnement. L'augmentation de la productivité est un facteur de grande importance pour le succès du projet RHP.

9.1. L'investissement pour l'équipement au sol du projet RHP peut parfois être diminué en conservant des postes ou blocks anciens.

Il est possible d'exécuter le projet RHP en conservant temporairement des postes de technologie ancienne. Les postes anciens compatibles avec le système ERTMS¹²⁵ sont les suivants : PAI 2006, PAI SSI, PRS post-1975, PRSI, PRG, PIPC, PRCI, PRSGC et SLOK.

Cependant, sur la ligne Paris - Le Havre, il a été constaté l'incompatibilité d'interface avec plusieurs générations de relais de PRS. Aussi SNCF Réseau envisage-t-il de remplacer par des PAI les PRS post-1975, PRSI, PRG, PIPC V1, PRCI, en conservant toutefois la campagne du poste si la fin de sa durée de vie est supérieure à trente ans. Selon SNCF Réseau, le résultat est économiquement neutre (voire légèrement favorable) en raison de la faisabilité de la sous-traitance et des interruptions temporaires de circulation (ITC) plus longues qui sont nécessaires à l'adaptation des PRS.

9.2. La solution du PPP a déjà été utilisée en Europe avec succès pour l'équipement de lignes à grande vitesse en ERTMS.

Longue de 165 kilomètres, la section Albacete – Alicante de la LGV Madrid – Castilla la Mancha – Comunidad Valencia – Murcia a été équipée de signalisation ERTMS sous le moyen d'un partenariat public – privé (PPP)¹²⁶. Une étude dirigée par la Commission européenne (DG MOVE) et achevée en mai 2014 avait démontré que c'était bien la meilleure solution. Le coût du déploiement d'ERTMS a été de quelque 22 millions d'euros. Le déploiement a été l'objet d'un contrat conclu en décembre 2011 ; la mise en service a été accomplie en mai 2014.

9.3. La solution de la conception-réalisation a été réalisée avec succès pour construire le PAI des Ardoines en trois ans seulement.

Le 23 juillet 2014, un incendie a complètement détruit le poste des Ardoines à Vitry-sur-Seine. Ce poste permettait le garage des rames de la ligne C du RER.

Un PAI a été commandé en urgence à Ansaldo STS, sous la forme d'un contrat de conception-réalisation. Cette procédure a permis de construire le nouveau poste en un temps très court : trois ans, au lieu de sept ans. Cela a été un succès, de l'avis des industriels comme du président de SNCF Réseau¹²⁷. Le succès a aussi été le fruit d'un excellent travail préalable de SNCF pour définir clairement et précisément le *programme fonctionnel*.

¹²⁵ Sur la question de la compatibilité des postes, on lira avec intérêt l'article « *ETCS level 2 meets existing interlockings – a challenge?* » de Rod Muttram et Beat Kelle, article publié en octobre 2016 par l'*Institution of Railway Signal Engineers* (IRSE).

¹²⁶ PPP appelé « *Design, Build, Finance and Maintain* » (DBFM)

¹²⁷ entretien de la mission du CGEDD avec Patrick Jeantet le 12 juillet 2018

9.4. SNCF Réseau prépare l'achat de postes informatiques à haute performance, moins coûteux.

En avril 2018, SNCF Réseau a conclu avec quatre fournisseurs d'équipement de signalisation (Alstom, Ansaldo, Siemens et Thales) des contrats pour préparer une passation de marché en 2019. Les nouveaux postes, appelés PAI NG3 ou Argos, devront bien sûr pouvoir être parfaitement connectés aux équipements de l'ERTMS (connexion avec les RBC, etc.).

Selon SNCF Réseau, l'installation de chaque nouveau poste PAI NG3 dit Argos (y compris les coûts en *campagne*) coûterait 15 % de moins sur la durée de vie. Il faut garder à l'esprit que les parties les plus importantes des coûts regardent les travaux en *campagne* d'une part, les vérifications et essais¹²⁸ d'autre part.

Les industries avec lesquelles la Mission du CGEDD s'est entretenue considèrent que **l'objectif d'une économie de 15 % est nettement insuffisante**. Un gain bien plus important leur paraît possible sous deux conditions :

- (1) une part bien supérieure à 25 % du coût total leur est confiée ;
- (2) la SNCF simplifie les procédures qui encadrent les études, les vérifications et les essais.

Selon la déclaration à la mission du CGEDD du président de SNCF Réseau le 12 juillet 2018, des progrès en cette matière sont assurément possibles. Mais ils exigent un effort conjoint tant des équipes de SNCF Réseau que des industriels.

9.5. Les procédures pour la réalisation des nouveaux postes sont anormalement longues et onéreuses.

Il apparaît que les procédures de la SNCF qui encadrent les études, la réalisation, les vérifications et les essais sont très lourdes. Pour la plupart, elles ont été établies pour les technologies les plus anciennes (avec relais, etc.), et n'ont pas été revues en profondeur pour les postes informatiques. Cela explique pourquoi la part des coûts relevant de l'industrie est faible (25 % environ), et pourquoi la durée totale de réalisation est si longue (sept ans environ).

Comme l'industrie, la mission du CGEDD croit que **les procédures doivent être revues au plus vite par SNCF Réseau afin de pouvoir réaliser tout nouveau poste informatique en trois ans**.

9.6. Hors de France, l'industrie accomplit souvent une part bien plus importante des travaux de modernisation.

Lorsque les Chemins de fer fédéraux (CFF) en Suisse ont confié à Siemens la charge d'équiper les lignes en balises pour l'installation au sol de l'ERTMS (niveau 1), ils ont pressé Siemens de rechercher des méthodes innovantes pour diminuer de 75 % le coût (alors de 82 000 euros par signal). Ce qui a été fait avec succès. Alors qu'auparavant 80 % de chaque tâche était faite par les CFF et 20 % par l'industrie, la proportion a été renversée. Bien entendu, la responsabilité de Siemens a été bien plus lourde¹²⁹.

Selon la mission du CGEDD, il est de grande importance que la SNCF et toutes les EF fassent plus largement confiance à l'industrie. C'est d'ailleurs l'opinion défendue par le

¹²⁸ Un bon tableau de synthèse sur les études et essais relatifs aux installations de sécurité est présenté à la page 86 du n° 249 de la *Revue générale des chemins de fer* (numéro publié en mai 2015).

¹²⁹ cf. IRSE News (numéro 199, avril 2014)

Groupe public ferroviaire (cf. « Une vision du système ferroviaire du futur », Tech4Rail, SNCF, avril 2018) :

« La transformation numérique déjà amorcée passe par la définition et la mise en œuvre de certaines priorités technologiques fondamentales. Pour accélérer sa migration, le ferroviaire doit s'ouvrir vers d'autres secteurs industriels dans lesquels des technologies nouvelles ont été testées, voire même connaissent déjà des usages matures. [...] »

La mise en œuvre d'une telle vision ne pourra s'accomplir que dans un écosystème ouvert et doté d'une vision commune. Les opérateurs ferroviaires doivent en ce sens poursuivre leurs initiatives de rapprochement et de collaboration, tout en s'ouvrant en parallèle sur des partenariats technologiques avec d'autres secteurs industriels ou de service, sources de solutions à faible coût (automobile, digital...) ou aux performances élevées (militaire, aéronautique, nucléaire...). »

Le même constat d'insuffisante externalisation dans les travaux de régénération de SNCF Réseau a été présenté dans le rapport (« Dimensionnement des effectifs et productivité de SNCF Réseau ») de l'Inspection générale des finances et du CGEDD en juillet 2015 :

« Selon la fédération des industries ferroviaires (FIF), la part des activités sous-traitées aux industriels est plus faible en France dans un rapport de 1 à 5 avec l'Allemagne et de 1 à 3 avec la Suisse ou l'Italie.

Selon les industriels, la partie accessible aux entreprises sur une opération de type régénération d'un poste d'aiguillage est en France de 30 à 40 % du volume des travaux, là où en Italie, en Allemagne ou au Royaume-Uni, 60 à 70 % des travaux sont sous-traités.

L'enjeu actuel est de permettre aux entreprises de monter dans la chaîne de valeur tout en conservant les compétences pour réceptionner les chantiers. »

L'excessive prudence de SNCF Réseau, quand il s'agit de l'externalisation des travaux d'investissement ou de maintenance en signalisation, est d'autant plus surprenante que SNCF Réseau se plaint sans cesse de n'avoir pas assez d'agents en ce domaine. Ainsi l'insuffisance de personnel compétent était-elle la première des causes présentées en janvier 2018 par la Direction de la circulation de SNCF Réseau au président de SNCF Réseau pour expliquer les retards du projet CCR¹³⁰.

9.7. La Suisse prépare son projet *SmartRail 4.0* en visant une diminution annuelle des coûts d'environ 400 millions d'euros, une augmentation de la capacité de 30 % et une augmentation de la disponibilité des installations de signalisation de 50 %.

Le projet *SmartRail 4.0* des Chemins de fer suisses (CFF) et d'autres partenaires suisses entend tirer plus grand profit de l'automatisation (1) de la gestion opérationnelle des circulations, (2) des fonctions d'espacement et d'enclenchement et (3) de la conduite des trains.

Les avantages attendus sont résumés dans le schéma ci-dessous. Ils seront obtenus notamment grâce à

- la diminution de 70 % du nombre des objets à disposition en campagne (33 000 au lieu de 114 000),

¹³⁰ « Causes de retards depuis 2010 : Problématiques ressources, notamment agents SE (rappel : dans le cas général de passage d'un poste ancien en CCR, # 70% de l'investissement est la régénération de la signalisation en campagne du poste, très consommatrice de main d'œuvre) » (extrait de la note de Jacques Dupuy de janvier 2018 intitulée « Le programme CCR : objectifs, avancement, retards, perspectives (note pour P. Jeantet) »)

- la localisation automatique, continue et précise de tous les trains¹³¹ (concurrentement avec l'ETCS de niveau 3) comme de tous les objets en campagne,
- l'automatisation de la conduite des trains (ATO pour les niveaux d'automatisation GoA 2, 3 ou 4),
- la commande en cabine des fonctions d'espacement et d'enclenchement¹³²,
- l'utilisation du futur moyen de télécommunication ferroviaire¹³³ (fondé sur les standards 4G et 5G).

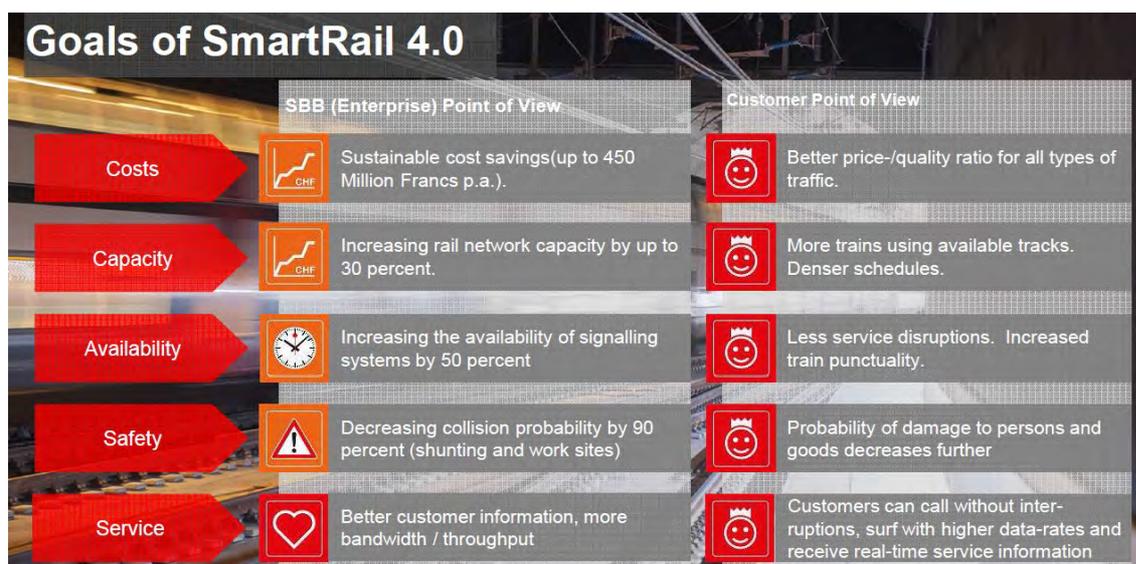


Illustration 21: objectifs du projet suisse SmartRail 4.0 (source : CFF en janvier 2018)

Les CFF envisagent que leur projet SmartRail 4.0 soit déployé sur l'ensemble de leur réseau d'ici 2038, comme le montre le schéma ci-dessous.

¹³¹ localisation de l'avant comme de l'arrière de chaque convoi, pour garantir son *intégrité*

¹³² Les systèmes des *Radio Block Centers* (les RBC de l'ETCS) et des postes d'enclenchement sont fusionnés en un seul système appelé « *ETCS Interlocking* ».

¹³³ *Future Railway Mobile Communication System* (FRMCS)

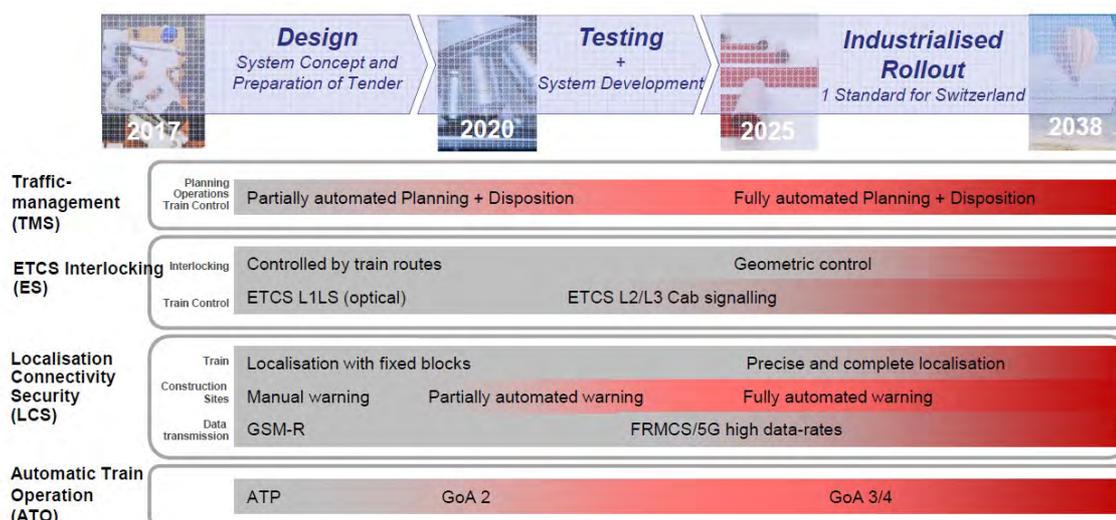


Illustration 22: les trois phases du projet suisse SmartRail 4.0 (source : CFF en janvier 2018)

À ce jour, les CFF sont encore dans une phase d'études destinée à valider les options technologiques choisies.

9.8. L'ERA, comme la Suisse, croit que les réseaux européens doivent vite équiper leurs lignes avec le niveau 3 de l'ERTMS, afin de diminuer le nombre des équipements ferroviaires en campagne.

De plus en plus souvent, on plaide en Europe pour l'équipement rapide au niveau 3 de l'ERTMS, et non au niveau 2, afin d'élever plus vite la productivité. Comme l'ont prouvé les Chemins de fer fédéraux en Suisse (cf. sous-partie précédente), le niveau 3 permet d'avoir beaucoup moins de matériels à placer et entretenir en campagne pour les fonctions d'espacement et d'enclenchement.

C'est aussi l'opinion de l'Agence de l'Union européenne pour les chemins de fer, appelée ERA (European Union Agency for Railways). Ainsi le directeur général de l'ERA, Josef Doppelbauer, a-t-il écrit dans IRSE News (numéro 246 de juillet et août 2018) :

« [...] the ERTMS deployment philosophy must be reviewed, in order to take the evolving technology opportunities best into account. In particular the vision of reducing the number of physical assets in the track significantly requires a rethink of the acceleration towards Level 3 from the current ERTMS Level 2 planning. ».

10. L'équipement en ETCS des matériels roulants

10.1. Une condition essentielle

Une condition essentielle à l'exécution du projet RHP est l'équipement préalable en ETCS de tous les matériels roulants passant par une ligne ou un nœud à moderniser.

En tant que gestionnaire d'infrastructure (GI), dont l'action s'inscrit dans le cadre de directives européennes sur l'ETCS et l'abandon des systèmes nationaux, SNCF Réseau n'a pas pris en compte les dépenses des EF pour l'équipement de leurs matériels dans le projet RHP.

S'agissant des matériels récents, pour lesquels il y a obligation réglementaire d'équipement¹³⁴, cette approche est bonne. Cependant, nombre de matériels existants et non équipés circuleront sur des lignes qui vont relever du projet RHP, et qui n'auront plus et devraient être toujours en service après la dépose de signaux latéraux. Ils devront être réaffectés à des services hors des sous-réseaux du projet RHP, ou ils devront être équipés *en retrofit*.

Les montants en jeu sont considérables. Selon SNCF Réseau, il faut compter, pour équiper en ETCS un matériel roulant existant, environ 0,8 million d'euros pour une automotrice, et environ 0,5 million d'euros pour une locomotive. Ce qui, pour trois milliers de véhicules environ, représenterait un budget compris entre 2 et 3 milliards d'euros.

Selon SNCF Réseau, dès lors que sa seule obligation réglementaire est d'offrir une ligne équipée en ETCS, c'est une charge normale des EF et des AOT que de s'adapter. Il leur revient de la supporter. Cette approche fait néanmoins abstraction de la soutenabilité pour les EF et les AOT.

10.2. Un parc français très peu équipé en ETCS

La mission du CGEDD a examiné la situation du parc actuel. Elle suggère de distinguer chaque segment de marché.

Jusqu'à présent, la démarche retenue par la SNCF a été de n'équiper les engins qu'au dernier moment, lorsqu'il n'était plus possible d'y échapper, soit du fait d'une obligation réglementaire, soit du fait de la situation physique. Ainsi la SNCF a-t-elle fait recours systématiquement aux possibilités de dérogation. Et elles ont été systématiquement accordées, ou soutenues, par l'Administration.

Pour les LGV neuves, le double équipement ERTMS-TVM a été en général choisi de préférence à celui du *retrofit* de rames, sans forcément prendre en compte le coût global, contrairement par exemple au choix de la DB¹³⁵.

De ce fait, hormis les rames à grande vitesse mises en service depuis 2007, le parc des rames pour voyageurs français est très peu équipé d'ETCS. Sur plus de 2 000 engins du parc *conventionnel*, 8 rames ZTER devant emprunter la *virgule* de Sablé sont équipées. Les travaux de *retrofit* sont en cours sur les rames transfrontalières vers le Luxembourg (20 automotrices).

10.3. Le *retrofit* est à supporter par les entreprises ferroviaires.

Pour les trains des **services conventionnés** (TER, Transilien, TET), les coûts prévisibles d'un équipement *a posteriori* sont certains et significatifs (le coût d'une

¹³⁴ cf. décision 2006/860 pour les rames à grande vitesse, décision 2009/561 pour les autres véhicules « *autorisés dans plus d'un État membre* », décision (UE) 2015/14 et règlement (UE) 2016/919 pour les autres véhicules « *nationaux* »

¹³⁵ Les 206 trains ICE-1, ICE-T et ICE-3 de la DB ont presque tous été modernisés avec l'ETCS.

automotrice neuve est de l'ordre de 3 à 10 M€), alors que les gains potentiels ne sont pas immédiats. Toutefois, calculés par exemple sur une durée de vie résiduelle de 15 ans, ces coûts ne dépassent pas quelques pourcents des dépenses des AOT pour la circulation du train. Le parcours de ces trains étant circonscrit, une politique de bonne affectation du parc devrait permettre de minimiser l'équipement de rames en fin de vie. Enfin, l'engagement pris par la Commission européenne pour les développements futurs de l'ETCS permet de garantir que la véhicule pourra être utilisé ailleurs, sans dépense nouvelle. Dès lors, la mission du CGEDD est d'avis qu'il revient bien aux AOT de supporter cette charge résultant d'une politique publique générale.

Il reviendra à SNCF Réseau d'annoncer avec un préavis suffisant la dépose de la signalisation latérale sur chaque ligne. Le délai permettra l'adaptation des parcs par les AOT et leurs exploitants.

Pour les **trains à grande vitesse** (TGV) utilisés pour des services « *librement organisés* », dont le coût unitaire est très élevé (de 27 à 30 M€), la charge d'un *retrofit* est proportionnellement moindre. SNCF Mobilités a indiqué que toute sa flotte (environ 320 rames) serait équipée en ETCS en 2030. C'est la conséquence des radiations faites en temps normal (la durée de vie des rames TGV, qui circulent beaucoup¹³⁶ étant en pratique assez courte) et des achats de matériels neufs (tous équipés désormais). La mission considère que SNCF Réseau ne devrait pas s'interdire, pour s'assurer des économies d'exploitation sur des LGV équipées, de déposer la TVM, lorsque les rames ETCS y deviennent majoritaires. Une possibilité est de faire supporter le coût d'exploitation de la partie sol de la TVM par une redevance *ad hoc*¹³⁷.

10.4. Mais une aide est à prévoir pour le fret.

La question des locomotives pour le transport du fret est sans conteste la plus difficile.

Selon Fret SNCF, l'estimation du coût de *retrofit* d'un engin est de l'ordre de 425 000 euros¹³⁸ (pour une série d'environ 50 locomotives), se décomposant en 3,9 millions d'euros de frais fixes pour les études, la réalisation de la tête de série et son homologation et 350 000 euros par engin (300 000 euros hors frais généraux, répartis entre 150 000 euros de fournitures et 150 000 euros d'installations et tests). Ces montants sont bien plus élevés pour des engins internationaux qui doivent être équipés en sus de la STM (*Specific Transmission Module*) propre à chaque pays, soit 150 000 à 200 000 euros par STM.

De tels montants sont, au regard des coûts de possession d'une locomotive, très élevés. De plus, les trains de fret sillonnent le réseau. Dès les premières lignes *RHP*, le parc devrait être massivement équipé. Par exemple, environ 500 locomotives pour le fret traversent le nœud ferroviaire de Lyon¹³⁹. Dès lors, leurs détenteurs souhaiteraient pouvoir être compensés du surcoût ainsi imposé. Le transport de fret étant une activité en concurrence, une telle subvention doit cependant être compatible avec le régime des aides d'État ; elle ne pourra pas en principe dépasser 50 % de la dépense¹⁴⁰. Un régime d'aides est en place avec l'Union européenne, sur une dépense éligible plafonnée à 250 000 euros (hors réalisation de la tête de série). La mission estime que l'État devrait compléter en tant que de besoin cette subvention européenne jusqu'à

¹³⁶ entre 400 000 et 900 000 km par an, contre 80 000 km en moyenne pour un TER

¹³⁷ cf. article 32 de la directive 2012/34/UE (« *Les redevances d'utilisation de l'infrastructure [peuvent être] différenciées de manière à encourager l'équipement des trains avec le système ETCS* »)

¹³⁸ DB Cargo donnait en 2016 un coût similaire de 410 00 euros.

¹³⁹ En ce sens, l'axe Marseille - Vintimille, en antenne, est atypique.

¹⁴⁰ cf. lignes directrices communautaires sur les aides d'État aux EF (2008/C 184/07) - 6.3 Critères applicables aux aides à l'utilisation de l'infrastructure ferroviaire, à la réduction des coûts externes et à l'interopérabilité

50 % du coût réel. Ce qui grossièrement représenterait un montant de 50 000 euros par engin.

La détermination du parc existant qui serait à équiper est délicate. Fret SNCF dispose d'un parc propre de l'ordre de 400 engins. Mais ce parc ne comprend pas les engins loués (environ 350)¹⁴¹ ni évidemment ceux de ses concurrents. Pour sa part, l'EPSF recense 4 700 locomotives et locotracteurs immatriculés en France. Mais la mission a compris qu'il s'agissait d'un *artefact* lié à la décision de SNCF Réseau d'imposer à ses prestataires de travaux, même s'ils n'effectuent jamais de prestations de transport pour tiers, de se déclarer EF et d'immatriculer leurs engins¹⁴². Au vu de l'annonce faite par DB Cargo, qui estime avoir besoin d'équiper 1 200 locomotives pour pouvoir circuler sur des corridors de fret sous ETCS seul, la mission considère que le chiffre de 800 locomotives de grand parcours pour le fret existantes à équiper est un bon ordre de grandeur. La charge complémentaire à prendre en compte sur le projet RHP serait ainsi de 40 millions d'euros.

La mission du CGEDD suggère que sans attendre, et en complément du plan national de déploiement, l'Administration française prépare une demande de subvention européenne. Il faut relever que parmi les plus de 1 500 engins pour le fret retenus par ce mécanisme, aucun n'est présenté comme français.

Le tableau ci-dessous donne le montant des subventions accordées par l'Union européenne pour l'équipement de bord en ETCS.

Pays	Demandeur	Nombre d'engins	Nombre de types	Période	Bénéficiaires	Montant (M€)	
SE	Trafikverket	132	10	2017-2023	7 compagnies	27,4	Nouvel équipement
BE-NL	DB Cargo	38	1	2019-2023	DB Cargo	6,1	Nouvel équipement
NL	Ministère	300	8	2018-2023	14 compagnies	32	Mise à niveau
DE-SW	DB Cargo	57	1	2019-2023	DB Cargo	5,8	Nouvel équipement
BE-DE-FR	DB Cargo	65	1	2019-2023	DB Cargo	9,8	Nouvel équipement
IT	Mercitalia Rail	61	2	2018-2023	Mercitalia Rail	6,1	Nouvel équipement
SE	Trafikverket	204	-	2017-2020	3 compagnies	20,2	Nouvel équipement
NL	Mitsui Rail Capital Europe B.V.	63	1	2018-2020		5,3	Nouvel équipement
SP	RENFE	91	-	2017-2020	RENFE	11,3	Nouvel équipement
DE-DK-SE	DB Cargo	17	1	2017-2020	DB Cargo	2,1	Nouvel équipement
BE	Lineas	42	1	2017-2020	Lineas	5,3	Nouvel

¹⁴¹ Mémento statistique

¹⁴² SNCF Réseau devra certainement réviser cette politique s'il veut éviter de financer chez ses fournisseurs l'équipement en ETCS Baseline 3 de leurs futurs engins, bien que ne circulant jamais ou presque sur des voies où l'ETCS est en service.

							équipement
SE	Trafikverket	91 74	-	2017-2020	6 compagnies	10,3	Nouvel équipement Mise à niveau
NL	Ministère	174	2	2017-2020	NS	17,1	Nouvel équipement
FR-LU	SNCF Mobilités	20	1	2016-2020	SNCF	5,2	Nouvel équipement
SP	RENFE	246	-	2016-2020	RENFE	28	Nouvel équipement

La Mission du CGEDD suggère qu'à l'instar de l'organisation retenue dans d'autres pays, SNCF Réseau puisse, au moins pour les détenteurs de parcs réduits (petites EF, loueurs) être missionné pour coordonner les demandes de subventions européennes par type de matériel et, le cas échéant, organiser les consultations d'industriels pour les équiper, voire distribuer la subvention ministérielle.

10.5. Le développement de l'EVC portable

Il ne faut pas oublier les circulations épisodiques de véhicules qui resteraient non équipés d'ETCS, en particulier les engins de travaux, qui ne sont pas soumis à l'obligation d'être équipés d'ETCS, mais aussi les matériels d'embranchés et les engins moteurs qui, pour se rendre dans un atelier de maintenance lourde, devraient emprunter une ligne équipée uniquement de l'ETCS. SNCF Réseau a commencé à étudier, un système simplifié, appelé *EVC portable*, qui ne coûterait que 40 000 euros.

Par rapport à l'EVC complet, l'*EVC portable* n'offrirait que des fonctions et performances réduites. Mais il donnerait au conducteur les informations minimales garantissant la sécurité des circulations sur une section sans signalisation latérale. Un des sources principales d'économie est d'abandonner le principe de localisation par odométrie, recalée par la lecture des Eurobalises de l'ETCS au niveau 2 (qui nécessite un lecteur de balises encombrant et coûteux) pour une localisation par GPS avec centrale inertielle, et d'en faire un appareil autonome non relié aux équipements de sécurité conventionnels du train (KVB, etc.). Selon le planning de SNCF Réseau dressé en 2018, le système pourrait être déployé dès 2024.

Les industriels avec lesquels la mission du CGEDD s'est entretenue ont fait savoir qu'ils étaient peu disposés à entreprendre un trop lourd et trop incertain programme de recherche et de développement sur l'*EVC portable*. Selon eux, le développement de nouveau système coûterait trop cher : peut-être 20 millions d'euros. Et le risque est grand que ce produit ne soit développé que pour le seul marché français. La direction du matériel de SNCF Mobilités a aussi fait part à la Mission du CGEDD de sa grande prudence envers l'EVC portable. Les contraintes d'usage et d'installation seraient telles que cet équipement de bord ne sera probablement utilisable que sur les matériels roulants utilisés pour les manœuvres et les travaux, mais pas sur un véhicule commercial, qui au surplus doit, dans la réglementation européenne actuelle, être équipé¹⁴³ d'un EVC complet.

La mission du CGEDD considère néanmoins que l'*EVC portable* répond à un besoin, pour les trains de travaux et autres circulations spéciales s'exerçant hors du cadre du droit d'accès inconditionnel au réseau, même si son usage se traduit par des limitations de performances et des contraintes d'exploitation. Si, comme elle l'a compris, pour ce seul périmètre, l'*EVC portable* dispose d'un modèle économique pour

¹⁴³ L'*EVC portable* est aussi présenté sous le nom de *NExT EVC* pour un usage sur les lignes régionales.

SNCF Réseau, elle ne voit que des avantages à ce projet, dont la recherche d'un dispositif de localisation des trains plus économique recoupe les travaux engagés en Europe sur ERTMS Niveau 3.

10.6. L'appel à l'industrie pourrait accélérer le *retrofit*.

Jusqu'à présent, c'est SNCF Mobilités qui, dans ses technicentres industriels a procédé elle-même au *retrofit* des matériels roulants en ETCS, avec les pièces fournies par les industriels.

Pourtant, l'industrie le fait hors de France.

Ainsi, le 25 mai 2018, Alstom a-t-il conclu avec le gestionnaire norvégien de l'infrastructure ferroviaire (Bane NOR), représentant les quatorze propriétaires des matériels roulants, trois contrats pour l'équipement de bord pour tous les trains de voyageurs, de fret et de travaux qui circuleront sur les lignes équipées du système ERTMS en Norvège, soit un peu plus de 400 trains. Pour les 274 trains du contrat signé avec Norske tog, le prix convenu est de 665 millions de couronnes norvégiennes, c'est-à-dire 73 millions d'euros environ, ce qui représente 267 000 euros par train. Tous les trains devront avoir été *retrofités* avant 2026, échéance de l'équipement complet du réseau norvégien en ERTMS. La mission du CGEDD n'a pas eu la possibilité d'analyser le détail exact des prestations ; mais ce coût apparaît significativement moins élevé que ceux qui ont été annoncés en France.

L'appel à l'industrie est de règle aussi au Danemark ou au Royaume-Uni.

Selon la loi pour un nouveau pacte ferroviaire, les AOT pourront devenir propriétaires des matériels et en confier le *retrofit* à l'industrie librement. Ainsi, dans le cas du projet de la ligne Marseille – Vintimille, un contrat a-t-il été conclu entre la région de Provence-Alpes-Côtes-d'Azur et SNCF Mobilités pour le *retrofit* de 32 TER (dans un total de 71), à réaliser par SNCF Mobilités. Le parc de 32 rames permettra l'exploitation de la section Grasse – Cannes – Vintimille équipée au sol en ERTMS, sans signaux latéraux. Mais d'ores et déjà, la région se réserve la possibilité de confier le *retrofit* des rames suivantes à d'autres.

11. Modalités d'étude par SNCF Réseau des sous-projets du projet RHP 2020-2040

Les quatorze sous-projets du projet RHP (cf. quatrième sous-partie du présent rapport) constituent une liste de sections sur lesquelles il paraît pertinent de construire le réseau à haute performance. La mission du CGEDD demande à SNCF Réseau de mener les études exploratoires pour évaluer les enjeux au regard des performances et des questions économiques et financières avant le 1^{er} janvier 2020.

Les études préliminaires sur les sections pour lesquelles le potentiel est confirmé devront être conduites dans le cadre des *schémas directeurs* du Grand Projet de modernisation du réseau (GPMR), comme il est prescrit au contrat entre l'État et SNCF Réseau. Pour cela, SNCF Réseau devra à chaque fois s'appuyer sur un *projet de service*. Il devra évaluer précisément les gains attendus, mais aussi les éventuels investissements complémentaires qui seraient nécessaires pour augmenter la capacité et qui seraient financés dans le cadre des CPER (à l'instar de ce qui est étudié pour les lignes Marseille - Vintimille et Nantes – Angers - Sablé et pour l'axe Paris-Normandie).

L'engagement des projets se fera ensuite en fonction des financements mobilisables, singulièrement dans le cadre des CPER. Il importera de définir les modalités de financement des sous-projets. Plusieurs aspects devront être clarifiés : trajectoire de renouvellement en référence, *retrofit* des matériels roulants (TER notamment), garanties données aux régions entreprenant le *retrofit* des TER (engagement de réaliser la modernisation de l'exploitation, à l'exemple de ce qui est envisagé pour la ligne Marseille – Vintimille), etc.

Il pourra être utile d'étendre le champ des études exploratoires (après juillet 2019 en fonction des résultats constatés), pour constituer un vivier d'opérations potentielles pour l'avenir.

Il est nécessaire de construire une stratégie vis-à-vis des financements européens. Pour la prochaine période budgétaire de l'Union européenne, il faudrait concentrer les efforts sur les LGV, le *retrofit* des matériels roulants et les études détaillées sur le réseau ancien, les travaux venant sur la période suivante.

Il est indispensable de bien mettre en perspective les différentes études et réalisations dans un ensemble cohérent pour lui donner davantage de visibilité politique.

SNCF Réseau devra bien intégrer dans toutes ses études la transformation des méthodes et processus d'exploitation.

Enfin, il faudra établir un lien étroit avec les études de nœuds sur la période 2020-2028 qui pourraient être demandées par l'État à SNCF Réseau dans la future *loi d'orientation des mobilités* (cf. annexe de la loi selon le projet connu actuellement).

12. Liste des personnes rencontrées

Nom	Prénom	Organisme	Fonction	Date de rencontre
Tainturier	François	SNCF Réseau	directeur du design du réseau	06/06/18, 18/06/18, 09/07/18, 25/07/18, 13/09/18 et 26/09/18
du Plessis	Gabriel	SNCF Réseau – Direction du design du réseau	chef du Service de modernisation du réseau	06/06/18, 18/06/18, 09/07/18, 25/07/18 et 13/09/18
Dupuy	Jacques	SNCF-Réseau – Ingénieries & Projets	chef du Service de la signalisation et de la commande centralisée du réseau	28/06/18
Joindot	Thomas	SNCF-Réseau – Ingénierie & Projets	directeur technique	02/07/18
Audoux	Jean-Pierre	Fédération des industries ferroviaires (FIF)	délégué général	04/07/18
Aliadière	Luc	Fédération des industries ferroviaires (FIF)	conseiller pour les affaires européennes	04/07/18
Pascault	Gilles	Ansaldo STS	président	04/07/18
Forestier	Jean-Pierre	JPFOR Consulting		04/07/18
Salesse	Olivier	Autorité de régulation des activités ferroviaires et routières (Arafer)	directeur du transport ferroviaire	09/07/18
Ouin	Xavier	SNCF Mobilités	directeur industriel et directeur général du Matériel SNCF	10/07/18
Fort	Thierry	SNCF Mobilités – Direction du matériel	directeur de l'ingénierie	10/07/18
Cérez	Jean-Marc	SNCF Mobilités – Direction du matériel	responsable MD-EQS – Équipements de sécurité et train communiquant	10/07/18
Poupard	François	Ministère chargé des transports	directeur général des infrastructures, des transport et de la mer	16/07/18
Saccoccio	Muriel	Ministère chargé des transports - Direction générale des infrastructures, des transport et de la mer (DGITM) - Sous- direction du développement et de la gestion des réseaux ferroviaires et des voies navigables	ajointe au sous- directeur	16/07/18
Lavoué	François	Ministère chargé des	chef du Bureau des	16/07/18

Nom	Prénom	Organisme	Fonction	Date de rencontre
		transports - Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM) - Sous-direction des transports ferroviaires et collectifs et des déplacements urbains	opérateurs de transports ferroviaires	
Bennet	Guillaume	Ministère chargé des transports - Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM) – Sous-direction du développement et de la gestion des réseaux ferroviaires et des voies navigables - Bureau du réseau ferré national	adjoint au chef du Bureau	16/07/18
Izard	Pierre	SNCF	directeur général délégué « <i>Système et technologies ferroviaires</i> »	27/08/18
Chavanel	Christian	SNCF	directeur	27/08/18
Castel	Laurent	Fret SNCF	directeur du matériel roulant	28/08/18
Bouvarel	Paul	SNCF Réseau	directeur de l'ingénierie d'exploitation en Île-de-France	29/08/18
Matuchet	Pierre	SNCF Mobilités - Voyages	directeur de la production et des systèmes d'information	10/09/18
Doisneau	Marc	SNCF Réseau	directeur général adjoint « <i>exploitation système</i> »	26/09/18
Marbach	Guillaume	SNCF Réseau	Directeur général adjoint pour l'Île-de-France	27/09/18
Chabanel	Matthieu	SNCF Réseau		02/10/18
Devaux	Olivier	SNCF Mobilités	directeur des opérations TER	02/10/18

13. Glossaire des sigles et acronymes

<i>Sigle ou acronyme</i>	<i>Signification</i>
ADV	appareil de voie
AI	Artificial Intelligence
AMEC	autorisation de mise en exploitation commerciale
AOT	autorité organisatrice de transport
AQST	Autorité de la qualité de service dans les transports
ATC	Automatic Train Control
ATO	Automatic Train Operation
ATP	Automatic Train Protection
ATS	Automatic Train Stop
BAL	block automatique lumineux
BAPR	block automatique à permissivité restreinte
BCG	Boston Consulting Group
CBTC	Communication Based Train Control
CCR	Commande centralisée des circulations
CCU	centre de commandement unifié (ou unique)
CFF	Chemins de fer suisses
CGEDD	Conseil général de l'environnement et du développement durable
CGPC	Conseil général des ponts et chaussées
CMPC	coût moyen pondéré du capital
COOPERE	Comité des opérateurs du réseau
CRC	China Railway Corporation
CTCS	Chinese Train Control System
DAS	Driver Advisory System
DB	Deutsche Bahn
DBFM	Design, Build, Finance and Maintain
DG MOVE	Directorate-General for Mobility and Transport
DMI	Display Machine Interface
DRR	Document de référence du réseau
EF	entreprise ferroviaire
EOLE	Est Ouest Liaison express
ERA	European Union Agency for Railways

<i>Sigle ou acronyme</i>	<i>Signification</i>
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ETCS	European Train Control System
EVC	European Vital Computer
FIF	Fédération des industries ferroviaires
FRMCS	Future Railway Mobile Communication System
GI	gestionnaire d'infrastructure
GoA	grade of automation
GOC	gestion opérationnelle des opérations
GPMR	Grand Plan de modernisation du réseau
GPRS	General Packet Radio Service
GSM-R	Global System for Mobile Communications – Railways
HPGVSE	Haute Performance Grande Vitesse Sud-Est
IA	intelligence artificielle
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
ITC	interruption temporaire de circulation
IFTÉ	Installation fixe de traction électrique
IP	Internet Protocol
JO	Jeux olympiques
KVB	contrôle de vitesse par balises
LGV	ligne à grande vitesse
LTV	limitation temporaire de vitesse
MGOC	Modernisation de la gestion opérationnelle des circulations
MI	matériel d'interconnexion
MING	Matériel d'interconnexion de nouvelle génération
Mistral	Modules informatiques de signalisation, de transmission et d'alarmes
NExTEO	Nouveau système d'exploitation des trains d'EOLE à l'ouest
NG	nouvelle génération
NIP	National Implementation Plan
Octys	Open Control of Trains, Interchangeable & Integrated System
Ouragan	Offre urbaine renouvelée et améliorée, gérée par un automatisme nouveau
PAI	poste d'aiguillage informatique
PIPC	poste d'aiguillage informatique à technologie PC

<i>Sigle ou acronyme</i>	<i>Signification</i>
PPP	partenariat public-privé
PRCI	poste d'aiguillage tout relais à commande informatique
PRG	poste d'aiguillage tout relais à câblage géographique
PRS	poste d'aiguillage tout relais à transit souple
PRSI	poste d'aiguillage tout relais informatisé
RATP	Régie autonome des transports parisiens
RBC	Radio Block Center
RER	Réseau express régional
RFF	Réseau ferré de France
RFI	Rete ferroviaria italiana
RHP	Réseau à haute performance
RMD	renouvellement, modernisation et développement
RPI	European Railway Performance Index
SD	schéma directeur
SGPI	Secrétariat général pour l'investissement
SIPH	Système industriel de production horaire
SL	signalisation latérale
SNCF	Société nationale des chemins de fer français
SOA	Service Oriented Architecture
STM	Specific Transmission Module
TDIE	Transport Développement Intermodalité Environnement
TGV	train à grande vitesse
TMS	Traffic Management System
TPS	Train Planning System
TVM	transmission voie-machine
UE	Union européenne
UIC	Union internationale des chemins de fer
UTO	Unattended Train Operation
VAN	valeur actuelle nette
2TMV	Deux trains sur la même voie

[Site internet du CGEDD : « Les derniers rapports »](#)

PUBLIÉ