AUDIT SUR L'ÉTAT DU RÉSEAU FERRÉ NATIONAL

RAPPORT DE LA MISSION

Pour le compte de
SNCF Réseau

Date : 19.03.2018
Version : 2.3

Référence IMDM : R.1811.2.3

L'audit sur l'état du réseau a été confié à un groupement d'experts internationaux des bureaux de conseil IMDM Infra Consulting, Vevey (Suisse), Geste Engineering, Ecublens (Suisse), Rebel Group, Rotterdam (Pays-Bas). Le groupement a bénéficié du concours de Rail Concept, Les Angles (France), pour le prétraitement des données.

Yves Putallaz (IMDM) – Direction de la mission, auditeur

Jean-Luc Borel (GESTE) – Auditeur

Willem-Jan Zwanenburg (REBEL) – Benchmarking

Vincent Jost (GESTE) – Auditeur

Nicolas Michaud (IMDM) – Auditeur

Michel Baud (GESTE) – Auditeur

Marc Dubach (GESTE) – Auditeur

Clément Granier (IMDM) – Simulations

Les conclusions, appréciations et qualifications contenues dans le présent document sont celles du groupement et des experts et n'engagent pas SNCF Réseau.

Les auditeurs désirent exprimer leurs remerciements à l'ensemble des personnes de SNCF Réseau ayant contribué d'une manière ou d'une autre à la réalisation des travaux.

0 RESUME EXECUTIF

0.1 L'AUDIT ET SON CONTEXTE

Le réseau ferré national a fait, au cours des vingt dernières années, l'objet de plusieurs audits qui ont remarqué le sous-investissement auquel était confronté le réseau ferré national ainsi que les difficultés qui en découlaient.

À la suite de l'audit EPFL de 2005 (rapport Rivier), l'État, Réseau Ferré de France et la SNCF ont engagé une série d'actions :

- multiplier par un facteur de 2,5 les budgets de renouvellement entre 2006 et 2015, pour les porter à 2,5 G€ ;
- élaborer un grand plan de modernisation du réseau (GPMR) dont la mise en œuvre a été actée en 2013.

Une logique de transparence et le suivi de ces actions ont conduit à la réalisation de trois études complémentaires, dont l'audit sur l'efficacité de la maintenance (SNCF – Infra, 2009), la revisite des audits EPFL (RFF et SNCF – Infra, 2011) et l'audit stratégique sur l'exploitation du Transilien (SNCF Transilien, 2015). La présente étude s'inscrit ainsi dans cette même logique de transparence et d'ouverture.

L'audit constitue également la réponse de SNCF Réseau à l'engagement pris vis-à-vis de la recommandation du BEA-TT, à la suite de l'accident de Brétigny.

0.2 LES OBJECTIFS ET LE PERIMETRE DE L'ETUDE

Les auditeurs ont reçu la mission :

1. procéder à la mise à jour de l'évaluation de l'état des infrastructures du réseau ;
2. d'évaluer les politiques de maintenance des actifs, au regard des objectifs de performance du réseau et émettre, le cas échéant, des recommandations visant à améliorer ces politiques ;
3. d'estimer les besoins financiers liés au renouvellement des actifs (maintien de la substance du parc) et de vérifier la trajectoire définie par le contrat de performance entre l'État et SNCF Réseau ;
4. enfin, de porter un regard sur certaines pratiques industrielles structurantes, telles que la planification de la maintenance, l'arbitrage budgétaire et le processus d'allocation de la capacité destinée aux travaux.

La mission porte sur les ouvrages d'art et les ouvrages en terre, la voie et les appareils de voie, les installations fixes d'alimentation électrique (caténaires et sous-stations), les installations de signalisation et les équipements de télécommunication.

L'analyse couvre le réseau ferré national, c'est-à-dire le réseau des lignes à grande vitesse, celui des lignes des groupes UIC 2 à 6 ainsi que le réseau des lignes des groupes UIC 7 à 9

Cependant, les estimations financières n'intègrent pas le renouvellement des lignes des groupes UIC 7 à 9 ; en effet, le maintien de la substance de ce patrimoine n'est pas couvert par la trajectoire budgétaire du contrat de performance entre l'État et SNCF Réseau.

0.3 LE RESEAU EN QUELQUES CHIFFRES[1]

Voici quelques chiffres indicatifs relatant la consistance du réseau ferré national.

Famille d'actifs	Somme	Non affecté	LGV	UIC 2 à 4	UIC 5 et 6	UIC 7 à 9
Voie – km	49'283		4'413	16'538	13'182	15'150
Appareils de voie – u	25'359	494	935	10'401	7'324	6'205
Électrification 25 kV – km	21'545		4'334	7'644	7'607	1'960
Électrification 1,5 kV – km	12'376		79	8'763	2'600	934
Sous-stations – u	575	575				
Postes de traction – u	2069	2069				
Cantonnement – km	29'770	29'770				
Postes – u	2'229	2'229				
Passages à niveau – u	15'405	15'405[2]				
Ponts rails – u	31'910	31'910				
Ponts routes – u	10'641	10'641				
Tunnels – u	1'576	1'576				
Autres ouvrages[3] – u	86'127	86'127				

Tableau 1 : Le réseau en quelques chiffres[1].

[1] Les chiffres sont tirés du document « Connaissance du Patrimoine 2017 », publié par SNCF Réseau.

[2] Sur le réseau exploité uniquement.

[3] Passerelles, murs et perrés, petits ouvrages.

0.4 METHODE D'EVALUATION DES BESOINS FINANCIERS

L'évaluation des besoins de renouvellement à long terme vise à vérifier la cohérence entre les trajectoires budgétaires du contrat de performance et les besoins de renouvellement des infrastructures tels que les auditeurs les estiment.

Les auditeurs ont utilisé deux méthodes d'évaluation, en fonction des familles d'actifs et de la disponibilité des données :

- l'évaluation par simulation des besoins physiques de renouvellement, actif par actif[4], selon des politiques prédéfinies et des coûts unitaires donnés ; cette méthode est utilisée pour les domaines de la voie, des appareils de voie, des installations fixes de traction électrique et la signalisation ; le renouvellement de ces familles d'actifs absorbe 80 % des montants du contrat de performance ;

- l'évaluation par analyses économiques simplifiées, sur la base de la valeur estimée du parc d'actifs ou par d'autres approches similaires ; cette méthode a été utilisée pour les ouvrages d'art, dont la régénération consomme 8 % des montants du contrat de performance.

Ainsi, 88 % des montants de la trajectoire définie par le contrat de performance ont fait l'objet d'une évaluation *ad hoc*.

Les besoins financiers relatifs à la régénération des ouvrages en terre, des équipements de télécommunication ont été tirés directement des trajectoires du contrat de performance, faute de méthodes d'évaluation adéquates mobilisables à court terme.

Enfin, rappelons que les évaluations ne portent que sur les infrastructures des lignes des groupes UIC 2 à 6 (y-compris les LGV).

Les auditeurs ont évalué deux scénarios :

- le scénario « contraint » a consisté à appliquer la contrainte définie par la trajectoire du contrat de performance sur la période 2017 – 2026, puis d'évaluer les besoins sans contrainte au-delà, en lissant les volumes par périodes de 5 ans ;

[4] Les besoins de renouvellement de 230'000 actifs du réseau ont été simulés à l'aide de la plateforme *d'asset management* Eqylibr® Scenario® d'IMDM ; les simulations ont porté sur 30 ans ; un actif est proposé en renouvellement, sous réserve de disponibilité budgétaire, lorsqu'il atteint sa durée de vie de planification.

- le scénario « théorique » non contraint qui a pour objectif de mesurer l'écart entre la dynamique naturelle du parc (les besoins sans contrainte aucune) et la trajectoire actuelle.

Les investissements ont été hiérarchisés en commençant par les lignes à grande vitesse, puis en continuant par le réseau d'Île-de-France, les voies des groupes UIC 2 à 4, puis 5 à 6.

Les hypothèses de simulation ont été construites en collaboration avec SNCF Réseau ; les durées de vie ont été proposées par les auditeurs puis discutées ; les coûts unitaires viennent directement de SNCF Réseau.

Les résultats des évaluations n'ont pas valeur de schémas directeurs de renouvellement ; ils tiennent compte de certaines contraintes industrielles mais ne se préoccupent pas du lissage de la charge de travail par anticipation. Par conséquent, les résultats doivent être considérés comme des ordres de grandeur ; toute comparaison avec les estimations détaillées produites par SNCF Réseau doit être réalisée avec précaution.

0.5 Premier constat : les besoins lies au renouvellement demeureront eleves

Les volumes financiers nécessaires au maintien de la substance des infrastructures des lignes à grande vitesse, des zones denses et des lignes des groupes UIC 2 à 6 vont demeurer à un niveau élevé, sensiblement supérieur à ce que le suggère la trajectoire du contrat de performance.

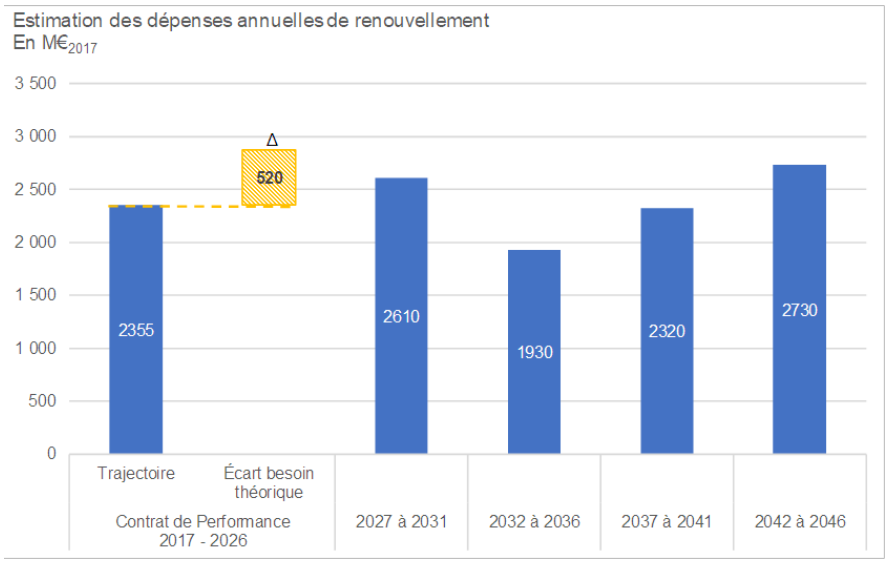


Figure 1 : Besoins annuels estimés par les auditeurs, en Euros constants (CE 2017).

Constat

Les comparaisons internationales montrent que la France investit sensiblement moins sur son réseau que la moyenne européenne ; elles étayent par conséquent ce constat.

Les estimations des auditeurs confirment celles de SNCF Réseau ; elles montrent que les besoins devraient atteindre 3,0 G€/an (CE 2017) en moyenne sur les 15 prochaines années. Exprimé en euros courants, la trajectoire s'élever ainsi à 3,8 G€/an en 2030, 3,1 G€/an en 2035 et 4,7 G€/an en 2040 (hypothèse d'actualisation : 2 %/an)

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.

Selon les estimations des auditeurs, l'écart de 520 M€/an est composé de 130 M€/an pour les ouvrages d'art, 110 M€/an pour la voie et les appareils de voie, 160 M€/an pour les installations fixes de traction électrique et 120 M€/an pour la signalisation.

Notons que la trajectoire budgétaire du contrat de performance affichée dans le graphique ci-dessus ne couvre que le périmètre de simulation ; les investissements relatifs aux gares, à l'amélioration de la régularité, aux OGE immobilisables ainsi que les investissements commerciaux ont été retirés de la trajectoire.

Les efforts consentis depuis la fin des années 2000 permettent le rattrapage progressif du retard de renouvellement des voies et des appareils de voie des groupes UIC 2 à 6 ; sous réserve du maintien de l'effort financier, la substance de ce patrimoine devrait se stabiliser dès 2025 – 2030 (la part de linéaires « hors d'âge » devrait devenir marginale). En revanche, résoudre l'obsolescence des caténaires les plus anciennes, maîtriser le vieillissement des ouvrages d'art et moderniser la signalisation nécessiteront des niveaux d'investissements élevés au cours du prochain quart de siècle.

Le cycle de vie des infrastructures n'étant qu'un éternel recommencement, il sera alors temps d'engager le remplacement des actifs renouvelés au début du 21ème siècle. Ceci devrait être particulièrement le cas des équipements électroniques et informatisés dont le périmètre fonctionnel étendu se paie par des durées de vie significativement plus courtes que les technologies électromécaniques du 20ème siècle.

Comme le confirment les comparaisons internationales, les coûts de possession d'un réseau ferré performant sont élevés. Ceci n'enlève pourtant rien à l'intérêt du mode ferroviaire dans son domaine de pertinence socio-économique.

Un certain nombre d'études le disent depuis plus de 10 ans, il est justement urgent d'interroger la pertinence socio-économique du réseau ferré national, tant sur le plan de son utilité – mais ce n'est pas le sujet de cette mission – que sur celui de la maîtrise des coûts de production.

0.6 L'ENJEU DE LA ZONE DENSE : FIABILISER LES EQUIPEMENTS ET AMELIORER LA MAINTENABILITE DES INFRASTRUCTURES

L'enjeu socio-économique des zones denses, en particulier en Île-de-France, est une évidence. Les statistiques d'incidents et de régularité montrent cependant que la performance de l'exploitation n'y est pas encore au rendez-vous.

Les leviers d'amélioration de l'équilibre socio-économique du ferroviaire en zones denses sont de nature technique.

Recommandation stratégique 1

Les auditeurs proposent de réinterroger les technologies et les principes techniques de signalisation de telle manière à :

- réduire le nombre de composants en voie (détecteurs, balises, pédales d'annonce, etc.) afin de limiter les sources d'incidents, de diminuer les coûts de surveillance et d'entretien et d'améliorer la maintenabilité du système dans son ensemble ; il s'agit notamment d'évaluer le potentiel d'économie que pourrait générer le recours progressif aux compteurs d'essieux en remplacement des circuits de voie, à l'aune de la politique de renouvellement des rails (les circuits de voie contribuent à la détection des rails cassés), des coûts de maintenance des joints isolants collés ainsi que de la fiabilité et de la vulnérabilité des équipements ;

- mettre un terme à la superposition de générations de technologies (crocodiles et détonateurs puis le KVB et bientôt Nexteo et ERTMS) ; cet effet sandwich, qui trouve son origine dans une difficile remise en question des solutions techniques passées lorsqu'elles touchent la sécurité, nécessite le développement et le maintien d'interfaces de plus en plus complexes, provoque l'accroissement du nombre d'objets en voie et complique ainsi la tâche du mainteneur.

Le rapprochement de l'ingénierie de conception de celle de maintenance, tel que le prévoit le projet d'organisation de SNCF Réseau au 1er juillet 2018, ainsi que le renforcement des compétences en exploitation sont d'excellent augure.

La modernisation des principes de signalisation requiert également une application « à juste échelle » des analyses MSC (méthode de sécurité commune - principe du GAME) ; le sujet est évoqué par une prochaine recommandation.

Recommandation stratégique 2 :

Les auditeurs recommandent la poursuite de la politique voie développée pour la zone dense, notamment le renouvellement anticipé des rails en zones sensibles du point de vue de la fatigue de contact (train BOA).

Les durées de vie préconisées par cette politique se rapprochent de celles que pratiquent les réseaux à circulation dense.

Recommandation stratégique 3 :

La robustesse de l'exploitation et la maintenabilité des caténaires profiteront d'un découpage plus fin des sections électriques, de telle manière à éviter qu'un incident localisé ne paralyse une zone étendue.

Il s'agit de garantir dans la durée les conditions cadres qui permettront de poursuivre la politique de redécoupage électrique suivie par SNCF Réseau Île-de-France.

0.7 L'ENJEU DES AXES NATIONAUX (RESEAU DE RANG 1) : MODERNISER L'INFRASTRUCTURE SOUS EXPLOITATION

Le réseau de premier rang, que l'on assimile ici par simplification[5] aux lignes à grande vitesse ainsi qu'aux lignes des groupes UIC 2 à 4 fait face à deux défis : moderniser les infrastructures et gérer le volume de chantiers.

À l'exception des lignes à grande vitesse, le niveau de modernité des infrastructures est en général hétérogène : la voie est renouvelée mais l'alimentation en énergie de traction, la signalisation ou les équipements de télécommunication sont anciens. Cette situation nuit à la robustesse globale du système.

Or, premièrement, les équipements ferroviaires jouissent de durées de vie plutôt longues ; les chances de procéder aux sauts de performance essentiels sont ainsi rares, à moins que l'on ne consente à de coûteux amortissements anticipés.

Puis, les contraintes systémiques entre domaines techniques (la modification d'un plan de voies impacte la caténaire et la signalisation, etc.) et les bénéfices que l'on

[5] La segmentation stratégique est construite selon une logique fonctionnelle ; par conséquent, des sections de lignes appartenant aux groupes UIC 5 à 9 peuvent se retrouver en rang 1 car elles constituent un élément clé de l'exploitation du réseau (voies de raccordement par exemple). Les bases de données actuelles n'intégrant pas encore cette segmentation, les auditeurs ont travaillé par groupes UIC ; les conséquences sur les conclusions de l'audit sont marginales.

tire d'une mutualisation des chantiers rendent nécessaire une harmonisation des programmes de renouvellement ou de modernisation entre disciplines.

Enfin, malgré les volumes de renouvellement de la voie et des appareils de voie déjà réalisés, la quantité de travaux se maintiendra à un niveau élevé ; la répartition des capacités entre sillons et travaux demeurera un sujet délicat, malgré la mise en œuvre depuis quelques années de processus capacitaires améliorés.

Ces défis militent pour un processus de planification par fuseau et par axe.

Recommandation stratégique 4 :

La modernisation et le maintien de la substance des axes forts du réseau national exigent une planification par fuseau et par axe.

Par fuseau, les auditeurs entendent un ensemble coordonné d'axes ; à titre d'illustration, un fuseau Paris-Marseille comprendrait la ligne à grande vitesse, la ligne classique Paris – Lyon – Marseille, la ligne de la rive droite du Rhône, etc.

L'échelle du fuseau doit permettre une planification stratégique en mesure de développer des scénarios de continuité de l'exploitation par le biais d'itinéraires alternatifs exploitables dans des conditions acceptables par les entreprises ferroviaires, tant en cas d'incidents que de travaux.

Le processus de planification devrait porter sur deux horizons distincts : l'horizon stratégique (au-delà de 5 à 6 ans) et l'horizon tactique (au-delà de 2 ans). Le processus aboutirait à des schémas directeurs d'axes, à l'image des travaux effectués par la direction Accès Réseau et celle de Maintenance & Travaux.

Les schémas emportent une dimension exploitation robuste et structurante.

Le processus doit comporter une phase de concertation, impliquant les parties prenantes de la société ainsi que les entreprises ferroviaires.

Il serait utile, afin de réduire les aléas nuisibles le long de la chaîne de planification, de travailler par périodes de programmation, à l'image du système anglais (*planning periods*), et de sévériser la phase d'émergence : les projets dont le financement n'est pas garanti à un horizon raisonnable doivent être évacués.

La modernisation coordonnée des domaines techniques sur un axe donné y nécessitera inévitablement une concentration temporaire de moyens au détriment d'autres axes. Cette concentration sera d'autant plus forte que les enveloppes budgétaires ou les capacités industrielles seront limitées.

Recommandation stratégique 5 :

La conduite des projets de réalisation doit être subordonnée aux schémas directeurs de fuseaux et d'axes. Un schéma directeur de fuseaux et d'axes ne peut être modifié a posteriori sans l'aval de l'instance qui en assume la responsabilité.

Les schémas de fuseaux et d'axes sont les plans de l'architecte du réseau. Ils sont nécessaires à la « commande » que le gestionnaire du réseau passe aux gestionnaires des actifs et des programmes, en particulier dans le domaine des télécommunications et de la signalisation.

0.8 L'ENJEU DU RESEAU DE RANG 2 : ACCROITRE LES CHANCES DE PERENNITE

Le réseau de rang 2 est associé, toujours par simplification, aux lignes des groupes UIC 5 et 6.

Les trajectoires budgétaires actuelles, si elles devaient perdurer, ne peuvent répondre à la fois aux besoins de régénération et de modernisation de la zone dense, du réseau de rang 1 et du réseau de rang 2.

En partant d'une hiérarchisation rudimentaire de l'effort de renouvellement – le réseau de rang 2 est servi en dernier – il est permis de douter de la pérennité des lignes les moins circulées. L'effet pourrait être accentué par l'émergence de nouvelles formes de mobilités innovantes, qui viendraient éroder les volumes de transport actuels.

Recommandation stratégique 6 :

Les auditeurs estiment opportun de moderniser le business case des lignes du réseau de rang 2 afin d'en améliorer le bilan économique.

En plus des recommandations 4 et 5, qui sont également applicables au réseau de rang 2, les auditeurs recommandent une série d'orientations susceptibles d'augmenter l'attractivité des lignes et d'en réduire les coûts :

- coordination sensiblement améliorée avec les réseaux de transports régionaux, quel que soit le mode de transport (encourager la mise en place de pôles multimodaux) ;
- renforcement du cadencement de l'horaire afin de systématiser au maximum la production ferroviaire et d'en réduire les coûts.

Du côté de l'infrastructure, le cadencement (sur les lignes de densité moyenne), permet d'envisager, à volume de sillons constant, la réduction du parc d'actifs à maintenir, les incompatibilités entre sillons se produisant toujours aux mêmes endroits. Ainsi, certaines sections de lignes peuvent être mises à simple voie lorsqu'arrive l'heure du renouvellement, les installations de gares peuvent être simplifiées à l'essentiel, etc. Certaines *branch lines* anglaises font figure d'exemple.

0.9 TRAITER AU CAS PAR CAS LA GESTION DU RESEAU DE RANG 3

La question de l'utilité socio-économique et de la pérennité du réseau de rang 3, constitué de lignes des groupes UIC 7 à 9, est évoquée de manière récurrente, depuis de nombreuses années.

En 2005 déjà, les auditeurs mentionnaient que, « *parmi les réseaux européens comparés, seul le réseau ferré national français compte une telle proportion de lignes à faible trafic. Il y a lieu de s'interroger sur la pertinence du maintien d'un trafic très faible sur un système conçu pour le transport de masse*. »

Les auditeurs ne se prononcent pas sur le maintien en service de ce patrimoine mais recommandent, comme l'on fait d'autres études, d'en interroger l'utilité socio-économique.

La résolution non dogmatique de la question – il s'agit d'éviter à la fois le maintien à tout prix et un nouveau plan « *Beeching* »[6], exige une approche au cas par cas, impliquant une implication accrue des parties prenantes régionales.

Recommandation stratégique 7 :

En effet, l'utilité de ces lignes est fortement tributaire de leur intégration dans les systèmes de mobilité régionaux. Les synergies qu'il est possible d'instaurer ne sont identifiables et mobilisables qu'au niveau local.

Par conséquent, les auditeurs recommandent d'étudier les modalités d'une résolution au cas par cas de la gestion des infrastructures et de l'exploitation de ces lignes. Il s'agit de veiller, cependant, à ce que le financement de la pérennisation de ces infrastructures ne mette pas en péril celui du maintien de la substance du réseau amont, de rang 1 et 2.

[6] Le Dr. *Richard Beeching*, auteur du rapport du même nom, est à l'origine de la fermeture rapide d'environ 30 % (8000 km) du linéaire du réseau ferré anglais dans les années soixante ; la rapidité de l'exercice, un calcul économique sans vision systémique et le manque d'efficacité des solutions de substitution sont pointés du doigt pas certains experts.

Recommandation stratégique 8 :

La gestion au cas par cas du réseau de rang 3 devrait être accompagnée de l'élaboration de standards techniques adaptés au niveau de trafic, tout en respectant les bonnes pratiques en matière d'analyse MSC[7]. Il ne s'agit pas de réduire les exigences mais d'adapter les solutions techniques aux niveaux de risques, dans l'objectif de réduire les coûts du maintien ou de la remise en exploitation de ces lignes.

0.10 TRANSFORMER CERTAINES PRATIQUES D'ASSET MANAGEMENT

Relever les défis qu'évoquent les chapitres précédents requière une série de transformations des pratiques de l'entreprise, telles que :

- le passage d'une culture du prescrit à une culture du processus et de l'amélioration continue (il s'agit d'un prérequis à la mise en œuvre d'un asset management efficient) ;
- l'amélioration de la chaîne de planification, y-compris la clarification des prérogatives et des responsabilités ;
- l'instauration de processus de gestion de la donnée et la poursuite de la mise en qualité de l'information relative aux actifs, aux politiques de maintenance et à la performance de l'exploitation (les auteurs saluent la mise en place d'un *Data Office* au sein de Réseau) ;
- le renforcement de l'ingénierie d'exploitation ;
- le recours accru à la télésurveillance ainsi qu'à la maintenance conditionnelle puis prédictive ;
- etc.

Ces sujets ont été évoqués par le rapport « robustesse », publié courant 2017.

Parmi les pratiques qu'il serait important de faire évoluer figure l'application des méthodes de MSC[52] (principe du GAME – Globalement Au Moins Équivalent).

Le principe du GAME dit que la modification d'un système existant ou la conception et la réalisation d'un nouveau système doivent être exécutées de telle manière à ce que le niveau global de sécurité soit au moins équivalent au niveau de sécurité

[7] Méthode de sécurité commune.

existant ou à celui de systèmes existants assurant des services ou des fonctions comparables ; le principe est ancré dans le cadre réglementaire national.

Le principe du GAME est pensé de telle manière à permettre l'innovation et l'amélioration continue des systèmes existants, tout en proposant un garde-fou contre certaines dérives typiques liées au progrès (« au toujours davantage »).

Cependant, l'efficacité du principe dépend de son application correcte, en particulier de la juste définition du périmètre d'analyse. Or, on constate que tel n'est pas systématiquement le cas au sein de SNCF Réseau : il arrive que les études de conception ou de modification des systèmes invalident des options techniques efficientes (améliorant le niveau de sécurité global) parce qu'elle n'intègrent pas les effets bénéfiques de ces options sur l'ensemble du système ou du périmètre fonctionnel (une réduction du niveau de sécurité intrinsèque d'un sous-système peut être compensée par l'augmentation du niveau de sécurité d'un autre sous-système).

Ceci peut constituer un frein à l'innovation car les études invalident les solutions techniques intéressantes ou en exigent un niveau de sécurité intrinsèque tel que leur mise en œuvre devient prohibitive (les sous-systèmes tendent à devoir répondre systématiquement aux exigences de sécurité de niveau SIL 4[8]).

Recommandation stratégique 9 :

L'application des méthodes de sécurité commune devrait être améliorée de telle manière à ce que l'évaluation des niveaux de sécurité puisse garantir le respect du principe du GAME tout en ouvrant la voie à des solutions techniques innovantes et meilleur marché.

[8] *Safety Integrity Level* ; le niveau 4 est le plus exigeant.

SOMMAIRE

0 RESUME EXECUTIF 5
0.1 L'audit et son contexte 5
0.2 Les objectifs et le périmètre de l'étude 5
0.3 Le réseau en quelques chiffres 6
0.4 Méthode d'évaluation des besoins financiers 7
0.5 Premier constat : les besoins liés au renouvellement demeureront élevés 8
0.6 L'enjeu de la zone dense : fiabiliser les équipements et améliorer la maintenabilité des infrastructures 10
0.7 L'enjeu des axes nationaux (réseau de rang 1) : moderniser l'infrastructure sous exploitation 11
0.8 L'enjeu du réseau de rang 2 : accroître les chances de pérennité 13
0.9 Traiter au cas par cas la gestion du réseau de rang 3 14
0.10 Transformer certaines pratiques d'asset management 15
1 CONTEXTE DE LA MISSION 19
1.1 Contribuer à d'avantage de transparence 19
1.2 Répondre aux engagements pris par SNCF Réseau vis-à-vis du BEA-TT 19
2 OBJECTIFS ET PERIMETRE DE LA MISSION 21
2.1 Objectif de la mission : vérifier l'alignement des trajectoires patrimoniales 21
2.2 Périmètre d'analyse 21
3 ÉLEMENTS DE METHODE 23
3.1 Apprécier l'état du réseau 23
3.2 Évaluer les stratégies d'actifs 24
3.3 SNCF Réseau publie Connaissance du Patrimoine 25
3.4 Classification des lignes : l'immortel groupe UIC 25
4 ÉVOLUTION DES INDICATEURS DE PERFORMANCE DES ACTIFS DU RESEAU 27
4.1 La performance des actifs du réseau 27
4.2 L'enjeu sécurité 27
4.3 L'enjeu disponibilité et régularité 32
5 ÉTAT, SUBSTANCE ET POLITIQUES DE MAINTENANCE DES ACTIFS 35

5.1 Le réseau en quelques chiffres. 35
5.2 Les ouvrages d'art 35
5.3 Les ouvrages en terre 40
5.4 La voie et les appareils de voie 43
5.5 Les caténaires 51
5.6 Les installations de signalisation 55
5.7 Les équipements de télécommunication 66

6 ÉVALUATION DES BESOINS DE RENOUVELLEMENT A LONG TERME DES INFRASTRUCTURES DES GROUPES UIC 2 A 6. 71

6.1 Objectif et méthode d'évaluation 71
6.2 Deux scénarios 72
6.3 Résultat global 73
6.4 Ouvrages d'art 76
6.5 Ouvrages en terre 81
6.6 Voies et appareils de voie 82
6.7 Installations fixes de traction électrique 87
6.8 Signalisation 91
6.9 Installations de télécommunication 94

7 CONCLUSIONS 96

7.1 Premier constat : à périmètre constant, les besoins d'investissements demeurent élevés. 96
7.2 L'enjeu de la zone dense : fiabiliser les équipements et améliorer la maintenabilité des infrastructures 97
7.3 L'enjeu des axes nationaux (réseau de rang 1) : moderniser l'infrastructure sous exploitation 98
7.4 L'enjeu du réseau de rang 2 : accroître les chances de pérennité 100
7.5 Traiter au cas par cas la gestion du réseau de rang 3 101
7.6 Transformer certaines pratiques d'asset management 102

1 CONTEXTE DE LA MISSION

1.1 CONTRIBUER A D'AVANTAGE DE TRANSPARENCE

Le réseau ferré national a fait, au cours des vingt dernières années, l'objet de plusieurs audits qui ont adressé les sujets de gestion des infrastructures et d'exploitation du réseau.

Un premier audit, datant des années quatre-vingt-dix, remarquait le sous-investissement auquel était confronté le réseau ferré national ainsi que les difficultés qui en découlaient. Le constat fut corroboré 10 ans plus tard par l'audit EPFL (rapport Rivier, 2005).

Par la suite, l'État, Réseau Ferré de France et la SNCF ont engagé une série d'actions :

- multiplier par un facteur de 2,5 les budgets de renouvellement entre 2006 et 2015, pour les porter à 2,5 G€ ;
- élaborer un grand plan de modernisation du réseau (GPMR) dont la mise en œuvre a été actée en 2013.

Une logique de transparence et le suivi de ces actions ont conduit à la réalisation de trois études complémentaires :

- l'audit sur l'efficacité de la maintenance (SNCF – Infra, 2009),
- la revisite des audits EPFL (RFF et SNCF – Infra, 2011),
- l'audit stratégique sur l'exploitation du Transilien (SNCF Transilien, 2015).

La présente étude s'inscrit ainsi dans cette même logique de transparence et d'ouverture.

1.2 REPONDRE AUX ENGAGEMENTS PRIS PAR SNCF RESEAU VIS-A-VIS DU BEA-TT

L'accident de Brétigny du 12 juillet 2013 a donné lieu à une recommandation du Bureau d'enquête sur les accidents de transports terrestres (BEA-TT), du Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer. Le BEA-TT préconisait de « *Faire vérifier régulièrement, par des audits externes et sur la base d'objectifs explicites, que l'évolution de l'âge moyen des différentes composantes du réseau ferré national est conforme aux orientations prises et que les moyens alloués à l'entretien sont*

cohérents avec les besoins liés à l'état des installations et aux performances attendues ».

Cet audit constitue l'engagement de SNCF Réseau vis-à-vis de la recommandation du BEA-TT.

2 OBJECTIFS ET PERIMETRE DE LA MISSION

2.1 OBJECTIF DE LA MISSION : VERIFIER L'ALIGNEMENT DES TRAJECTOIRES PATRIMONIALES

Dans le cadre évoqué par le chapitre précédent, les auditeurs ont reçu la mission :

1. de procéder à la mise à jour de l'évaluation de l'état des infrastructures du réseau ;
2. d'évaluer les politiques de maintenance des actifs, au regard des objectifs de performance du réseau et émettre, le cas échéant, des recommandations visant à améliorer ces politiques ;
3. d'estimer les besoins financiers liés au renouvellement des actifs (maintien de la substance du parc) et de vérifier la trajectoire définie par le contrat de performance entre l'État et SNCF Réseau ;
4. enfin, de porter un regard sur certaines pratiques industrielles structurantes, telles que la planification de la maintenance, l'arbitrage budgétaire et le processus d'allocation de la capacité destinée aux travaux.

En empruntant les termes de la gestion des actifs industriels[9], la mission revient à vérifier « l'alignement » entre (1) les objectifs stratégiques du réseau, que devrait incarner la « commande » de l'État envers le gestionnaire de l'infrastructure (GI), (2) les stratégies d'actifs que le GI préconise et (3) les ressources qui sont allouées à la maintenance du patrimoine.

2.2 PERIMETRE D'ANALYSE

La mission porte sur les familles d'actifs suivantes :

- les ouvrages d'art et les ouvrages en terre,
- la voie et les appareils de voie,
- les installations fixes d'alimentation électrique (caténaires et sous-stations),
- les installations de signalisation,
- les équipements de télécommunication.

[9] Ou *Asset management* dont les principes sont définis par la norme ISO 55'000.

L'analyse couvre le réseau ferré national, du réseau des lignes à grande vitesse au réseau des lignes dites des groupes UIC 7 à 9 (*cf.* le § 3.4, page 25 au sujet de la classification).

Cependant, les estimations financières n'intègrent pas le renouvellement des lignes des groupes UIC 7 à 9 ; en effet, le maintien de la substance de ce patrimoine n'est pas couvert par la trajectoire budgétaire du contrat de performance entre l'État et SNCF Réseau.

3 ÉLEMENTS DE METHODE

3.1 APPRECIER L'ETAT DU RESEAU

La mission exige une interprétation large de la notion d'état des infrastructures du réseau.

Comme l'illustre la figure suivante, les analyses des auditeurs reposent sur 3 familles d'indicateurs :

- les indicateurs d'état des actifs, que l'on associe, dans le cadre d'une étude stratégique, à l'âge des équipements (*cf.* la remarque qui suit la figure) ;
- les indicateurs de fiabilité qui permettent d'estimer la pertinence des technologies et des politiques de maintenance (entretien et renouvellement) ;
- les indicateurs de risques, que les auditeurs appellent ainsi car ils véhiculent à la fois la dimension de la probabilité de défaillance et celle de l'impact du point de vue du client ou d'autres parties prenantes.

L'appréciation de l'état du réseau combine ainsi des indicateurs issus des trois familles, en fonction de la disponibilité de l'information et des familles d'actifs que l'on traite.

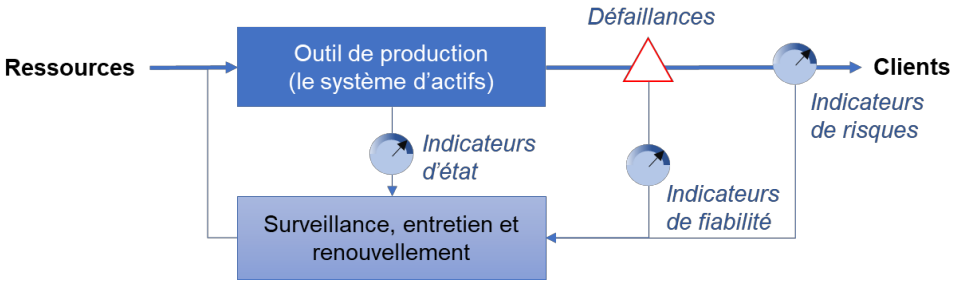


Figure 2 : Les trois familles d'indicateurs à la base des analyses.

L'appréciation de l'état des actifs, dans le sens restrictif du terme, repose sur les indicateurs d'état disponibles et qu'il est possible d'agréger à l'échelle du réseau ferré national ; c'est le cas des ouvrages d'art (notes d'état des ouvrages, note de gravité des désordres constatés), des voies (nivellement des voies, note d'état des voies des groupes UIC 7 à 9).

Toutes les familles d'actifs ne disposent pas de tels indicateurs ou ces indicateurs ne décrivent pas suffisamment l'état des actifs de manière à construire une projection des besoins futurs de renouvellement. C'est la raison pour laquelle cet audit, de nature stratégique, recourt à la notion d'âge des équipements. Considéré par

familles d'actifs et par technologie, l'âge est un indicateur qui se prête bien à une analyse stratégique, à l'échelle macroscopique.

Le recours à l'âge comme indicateur implique que l'on définisse des durées de vie de référence. Ces dernières ont été estimées par les auditeurs sur la base de leur expertise, en tenant compte des durées de vie proposées par SNCF Réseau, à travers des référentiels de planification ou d'expertises, et en observant les pratiques que l'on constate ailleurs en Europe.

La notion de durées de vie est à comprendre comme durées de vie « de planification », par opposition aux durées de vie techniques ultimes au-delà de laquelle la sécurité ne peut plus être assurée.

3.2 ÉVALUER LES STRATEGIES D'ACTIFS

Les stratégies d'actifs définissent les politiques d'entretien et de renouvellement ; elles conditionnent ainsi les cycles de vie des équipements.

L'évaluation de la politique de renouvellement repose, dans la plupart des cas, sur la comparaison entre la durée de vie économique d'une famille d'actifs et l'âge moyen (ou la pyramide des âges) des actifs correspondants ; l'exercice permet d'estimer d'éventuels retards de renouvellement. Dans le cas des ouvrages d'art, l'évaluation se base sur la distribution des volumes d'objets par niveau d'état ; la présence d'un grand nombre d'objets dans des états peu souhaitables constituant un signe d'une stratégie insuffisante.

L'évaluation de la politique d'entretien est construite sur la base :

- des témoignages des spécialistes de SNCF Réseau que les auditeurs ont rencontrés,
- du suivi des recommandations qui avaient été émises par l'audit sur l'efficacité de l'entretien et datant de 2009,
- de l'analyse de l'évolution d'indicateurs d'état et de fiabilité des actifs,
- l'évolution des dépenses associées à certains postes de coûts.

Les auditeurs ont renoncé à l'analyse systématique des données de comptabilité relative à l'entretien (matrice des 10'000 points) ; la construction complexe de la base comptable et les incertitudes liées à l'affectation des dépenses réduisent l'intérêt d'un tel exercice dans le cadre de cette mission.

3.3 SNCF RESEAU PUBLIE CONNAISSANCE DU PATRIMOINE

SNCF Réseau édite depuis quelques temps un document qu'elle intitule « Connaissance du Patrimoine » ; la version la plus récente date du 11 septembre 2017.

Le document compile une série d'indicateurs portant sur la consistance du parc, sur l'évolution de l'état des équipements, sur la fiabilité et la vulnérabilité du réseau ainsi que sur les trajectoires de régénération passées.

Il s'agit d'un document de valeur sur lequel les auditeurs ont basé une part importante de leurs analyses. Le présent rapport y fait régulièrement référence ; certaines figures sont directement issues du document.

3.4 CLASSIFICATION DES LIGNES : L'IMMORTEL GROUPE UIC

La classification des lignes en groupes UIC se rencontre très fréquemment au sein de SNCF Réseau ; elle est instinctive et fortement ancrée dans la culture de l'entreprise.

Pour mémoire, cette classification émane de l'UIC qui cherchait à regrouper les lignes en catégories homogènes du point de vue des coûts de maintenance de la voie. Le code publié à cet effet (UIC 714 R[10]) établit le modèle de classification d'un segment de voie, basé sur la masse annuelle des circulations que multiplient une série de facteurs décrivant les caractéristiques physiques des matériels moteurs et tractés ainsi que les vitesses de circulations ; on obtient ainsi une unité de masse pondérée appelés « tonnes fictives ».

Il s'agit donc d'une classification technique, axée sur le domaine de la voie, imparfaitement adaptée aux besoins d'analyse et de pilotage stratégique.

Réseau Ferré de France avait développé une première segmentation stratégique basée sur des considérations socio-économiques et commerciales ; cette segmentation n'a pas survécu à la réforme ferroviaire de 2014. SNCF Réseau a repris le flambeau et propose aujourd'hui une classification du réseau en 3 rangs :

[10] Il existe deux éditions du code UIC 714 R : celle de 1972 (utilisée par SNCF Réseau) et celle, plus récente de 1989. La méthode de calcul varie quelque peu ainsi que le nombre de classes : l'édition de 1972 en prévoit 9 alors que celle de 1989 n'en retient plus que 6. Les deux éditions répondent toutefois aux mêmes principes fondamentaux.

- réseau de rang 1 : tous les axes d'importance nationale, tels que lignes à grande vitesse, lignes du « réseau structurant », lignes des zones denses ; on associe ce réseau aux lignes des groupes UIC 2 à 4 ;
- réseau de rang 2 : les lignes interrégionales ainsi que les réseaux périurbains ; le rang 2 est approximativement associé aux groupes UIC 5 et 6 ;
- le réseau de rang 3 : les lignes à vocation locale, caractérisées par de faibles trafics ; le rang 3 est associé aux lignes des groupes UIC 7 à 9.

Les auditeurs, dans leurs considérations stratégiques, utilisent de préférence la classification de SNCF Réseau en 3 rangs ; cependant, la plupart de l'information et des données nécessaires aux analyses véhiculent la classification UIC. Par conséquent, l'essentiel des résultats de l'audit sont exprimés par groupes UIC, contribuant ainsi, malgré les auditeurs, à pérenniser cette pratique.

4 ÉVOLUTION DES INDICATEURS DE PERFORMANCE DES ACTIFS DU RESEAU

4.1 LA PERFORMANCE DES ACTIFS DU RESEAU

Le chapitre traite de la performance des actifs du réseau sur la base de l'analyse de certains indicateurs de fiabilité et de risques, selon la définition proposée par les auditeurs (*cf*. Figure 2, page 23).

La performance est évaluée à l'aune des enjeux de sécurité de l'exploitation et de disponibilité ou de régularité (qui est l'expression sur le plan des risques de la disponibilité).

4.2 L'ENJEU SECURITE

De façon simplifiée, la maîtrise opérationnelle du niveau de sécurité de l'exploitation des infrastructures repose sur :

- l'état technique des équipements ;
- l'application correcte de techniques et de procédures, en matière de surveillance et de maintenance des actifs ainsi qu'en matière d'exploitation ferroviaire.

La mission porte sur le premier point, les sujets d'organisation et de procédures font l'objet d'audits internes et externes[11].

La Direction Maintenance et Travaux (M&T) de SNCF Réseau identifie les sept risques sécurité de l'exploitation suivants :

- chute de blocs rocheux dans le gabarit ferroviaire,
- avarie grave de cœur en about et avarie grave de cœur en partie centrale (les deux sont des risques de rupture du cœur d'un appareil de voie),
- rupture multiple et/ou complexe du rail,
- dépassement d'un seuil de ralentissement d'un paramètre de la géométrie de la voie,

[11] L'Etablissement Public de Sécurité Ferroviaire (EPSF) conduit régulièrement des audits sur la maîtrise de la sécurité.

- perte d'enclenchement d'un poste de signalisation électromécanique,
- défaut d'isolement d'un câble de signalisation.

Ce sont les risques classiques du monde de l'exploitation ferroviaire. Les auditeurs ont vérifié l'évolution d'événements liés à la réalisation de ces risques.

Constat 1 :

Sur le plan patrimonial (l'état technique des équipements), la maîtrise du niveau de sécurité est actuellement assurée : le nombre d'incidents sécurité attribués aux matériels est en baisse régulière depuis 2010 (*cf.* la figure suivante).

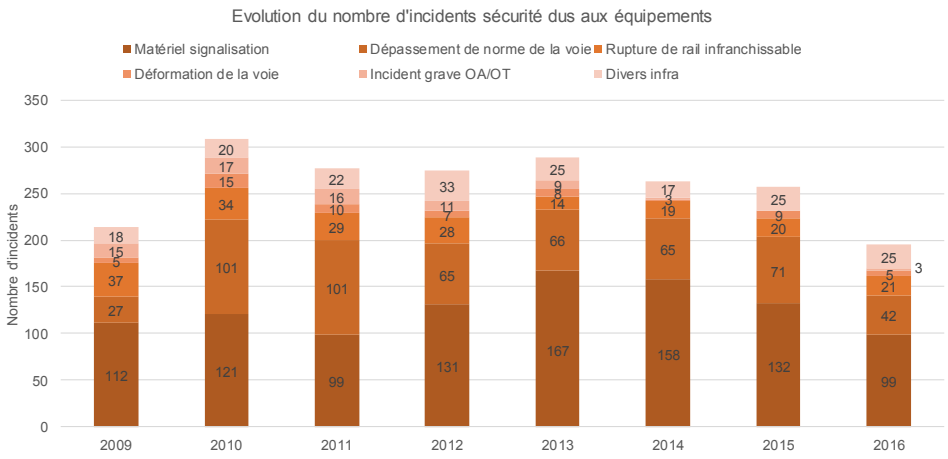


Figure 3 : Évolution du nombre d'incidents sécurité (selon SNCF Réseau) de 2009 à 2016 ; source : données mises à disposition par SNCF Réseau.

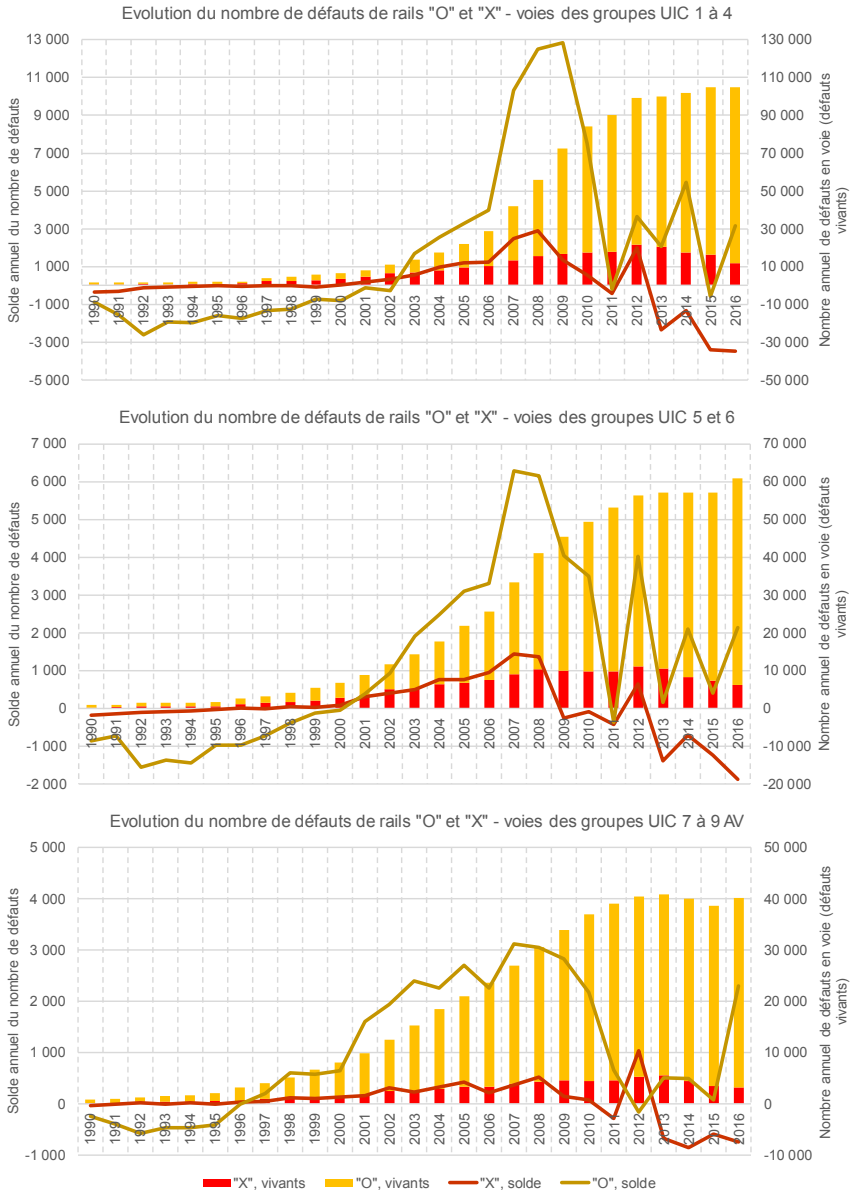
On note la contribution importante des matériels de signalisation dans les incidents de sécurité ; cette part s'explique par la nature même de la fonction de la signalisation.

À ce propos, deux des sept risques de sécurité identifiés par la Direction Maintenance et Travaux (M&T) concernent directement les équipements de signalisation : la perte d'enclenchement dans un poste électromécanique et le défaut d'isolement d'un câble.

Ceci souligne le caractère stratégique des politiques de maintenance (entretien et renouvellement) de cette famille d'équipements ; or, comme le montrera le chapitre relatif aux trajectoires en matière de signalisation, le vieillissement et l'obsolescence

prévisible des postes et des blocks constituent un risque majeur pour le gestionnaire d'infrastructure.

Le nombre de défauts de rails en voie (les défauts dont la taille ne justifie pas encore d'intervention de maintenance selon les critères définis par SNCF Réseau) a sensiblement augmenté.



« O » : défauts à retirer, mais sans date butoir de retrait, « X1 » et « X2 » : à retirer avec une date butoir de retrait (typiquement 6 mois pour les défauts X1 et 1 mois pour les défauts X2).

Figure 4 : Évolution du nombre de défauts de rails sur le réseau SNCF ; source : données mises à disposition par SNCF Réseau.

Cette augmentation est le fruit, jusqu'au milieu des années 2000, de l'amélioration progressive du suivi et des techniques de surveillance des rails. Par la suite, la tendance est en partie le signe de la recrudescence du phénomène de fatigue de contact rail – roue.

On observe depuis 2010 une stabilisation du nombre de défauts au prix d'un effort d'entretien accru et, récemment, de la mise en œuvre de la nouvelle politique de maintenance des rails (cf. § 5.4, page 43). Le solde entre le nombre de défauts amortis et le nombre de défauts découverts est devenu positif (moins de défauts ont été découverts que de défauts ont été amortis).

Aujourd'hui, cependant, le réseau compte plus de 200'000 défauts « O » ou « X » répertoriés. Selon une statistique interne, la moitié des défauts sont liés à la fatigue de contact rail – roue et sans doute le résultat de l'utilisation d'engins de traction plus puissants (c'est une tendance qu'ont connu ou que connaissent les autres réseaux ferrés européens).

Comparaisons internationales :

Les auditeurs ont comparé le nombre de défauts de rails vivants ainsi que le nombre annuel de défauts découverts entre les gestionnaires d'infrastructures ferroviaires suisse – CFF Infrastructure, belge – Infrabel et français.

Les politiques de gestion des défauts de rails sont hétérogènes ; les auditeurs n'ont pas trouvé trace, dans les référentiels suisses, d'une classification des défauts permettant de les maintenir en voie sans délai d'éradication. Le concept de « défauts vivants » ne semble pas être populaire auprès d'Infrabel.

En termes de nombre de défauts découverts, la comparaison devient celle-ci :

- CFF – I : 46 défauts par 100 km de voies principales[12]
- INFRABEL : 31 défauts par 100 km de voies principales[13]
- SNCF « X » : 26 défauts par 100 km de voies principales (UIC 2 à 6)[13]
- SNCF « O » : 78 défauts par 100 km de voies principales (UIC 2 à 6)

La comparaison doit être considérée avec prudence car les méthodes de relevé et de classification des défauts diffèrent d'un réseau à l'autre. En particulier, le chiffre relatif aux défauts « X » de SNCF ne couvre que les défauts repérés dans l'année, sans tenir compte des défauts « 0 » qui seraient devenus « X » dans l'année. Le nombre de défauts découverts sur le réseau suisse s'explique par la densité du trafic ferroviaire.

[12] Moyenne entre 2015 et 2016.

[13] Moyenne entre 2010 et 2016.

On peut cependant conclure que la différence entre les 3 gestionnaires concerne essentiellement la manière avec laquelle les défauts de rails sont suivis.

Simultanément, le nombre de ruptures de rails est en baisse ; la conjonction des deux tendances montre que SNCF Réseau a amélioré sa maîtrise du risque grâce notamment à la mise en œuvre de nouvelles technologies de surveillance et d'une maintenance renforcée (les dépenses liées aux retraits de coupons de rails ont augmenté d'environ 40 % au cours des 6 dernières années, en Île-de-France le remplacement des rails est davantage anticipé).

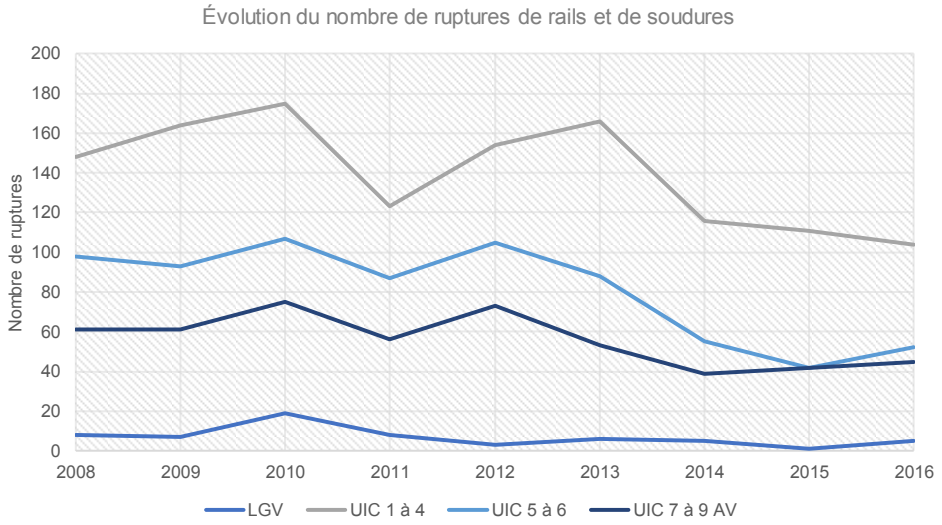


Figure 5 : Évolution du nombre de ruptures de rails et de soudures sur le réseau SNCF ; source : « Connaissance du patrimoine, 2017 ».

Constat 2 :

Le risque de ruptures de rails est maîtrisé.

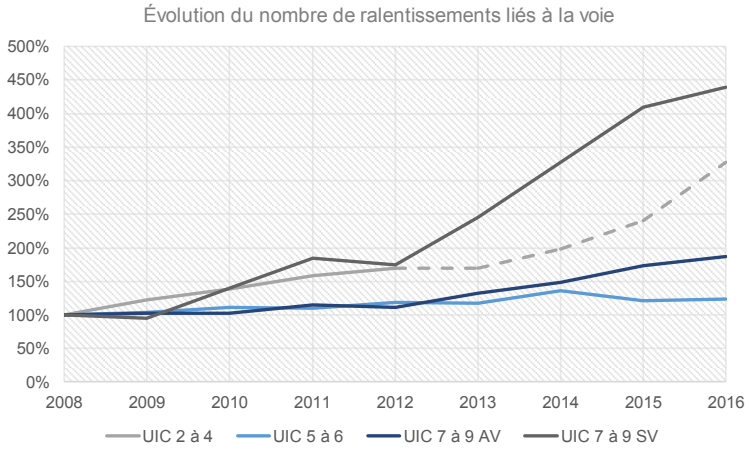
Il ne faut cependant par perdre de vue le « stock » important de défauts de rails en voie, stock qui devra être résorbé à terme. La maîtrise dans la durée du risque de rupture de rails repose sur une capacité industrielle suffisante, y-compris en matière de fenêtres travaux ; c'est un équilibre précaire qui peut être rapidement déstabilisé par l'émergence de nouveaux phénomènes de fatigue rail – roue, par exemple. Il s'agit plutôt d'un risque stratégique, sur le coût du cycle de vie et sur la disponibilité.

4.3 L'ENJEU DISPONIBILITE ET REGULARITE

4.3.1 LIMITATIONS TEMPORAIRES DE VITESSE

Le nombre de limitations temporaires de vitesse (LTV) ne cesse de croître, sur l'ensemble du réseau à l'exception des lignes à grande vitesse ; sans surprise, le réseau des lignes régionales (des groupes UIC 7 à 9) est particulièrement touché (*cf.* « Connaissance du patrimoine 2017 », pages 42 et 43).

L'évolution des longueurs de ralentissements liés à l'état de la voie, qui en constitue la cause majeure, montre que la situation s'est stabilisée sur les lignes des groupes UIC 2 à 4 (la tendance négative est expliquée par l'abaissement de la vitesse de ligne de l'axe classique Tours – Bordeaux, en prévision de la mise en service de la nouvelle ligne à grande vitesse) mais qu'elle se dégrade sur les lignes des groupes UIC 7 à 9.

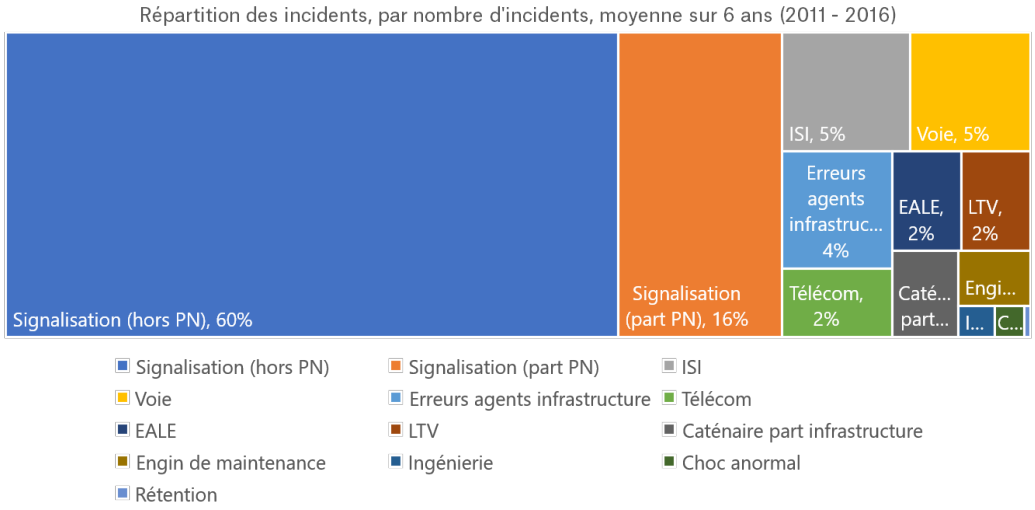


Cette évolution négative constitue un signe supplémentaire clair de l'insuffisance de substance du patrimoine des voies et des appareils de voie des groupes UIC 7 à 9, ce qui n'est évidemment pas un sujet nouveau.

4.3.2 ÉVOLUTION DU NOMBRE D'INCIDENTS

Les équipements de signalisation, y-compris les installations de sécurité des passages à niveau (PN), contribuent à environ 75 % du nombre d'incidents et 60 % des impacts sur la ponctualité exprimée en minutes de retard (*cf.* la figure suivante). La voie suit, avec respectivement 5 % du nombre d'incidents et 11 % des impacts sur la ponctualité).

Les équilibres sont comparables en Île-de-France.



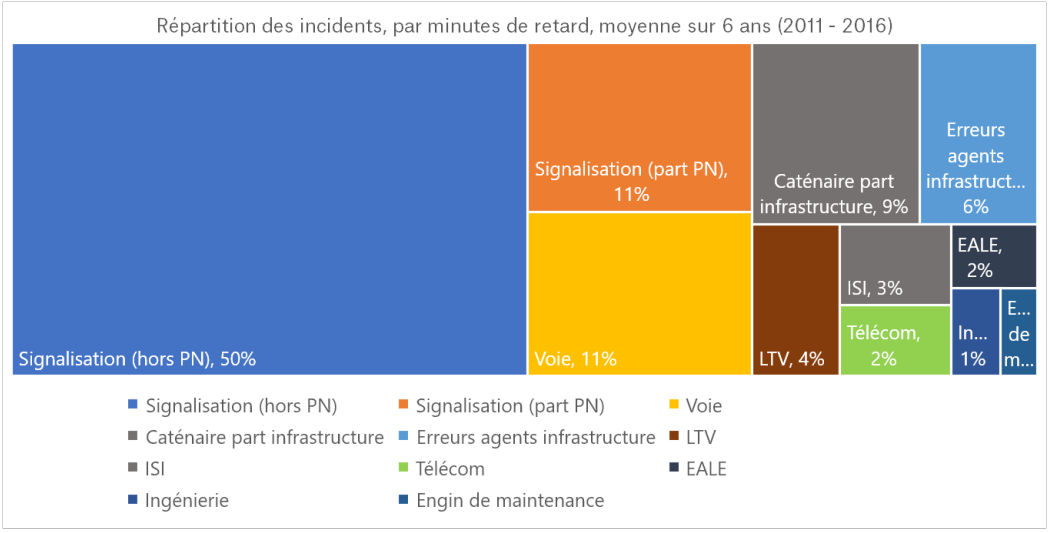


Figure 6 : Contribution des métiers à l'indisponibilité des équipements, exprimée en nombre d'incidents (en haut) et en impacts sur le trafic (en bas) ; sources : données fournies par SNCF Réseau.

Comparaisons internationales :

Cela dit, la forte contribution des équipements de signalisation dans l'irrégularité de l'exploitation se retrouve auprès des autres réseaux européens, mais pas forcément dans des proportions si élevées.

Le caractère contributeur de la signalisation s'explique par la nature même de la fonction de la signalisation qui, pour garantir la sécurité, se met en mode *fail-safe* en cas de défaillance.

Néanmoins, au vu des enjeux socio-économiques du réseau, en particulier en zone dense, ces résultats montrent à quel point il est urgent d'interroger la conception des systèmes de signalisation, sans dogme, sur le plan de la fiabilité et de la maintenabilité ; ceci est particulièrement vrai pour les circuits de voie qui contribuent à plus de 18 % des retards en Île-de-France.

5 ÉTAT, SUBSTANCE ET POLITIQUES DE MAINTENANCE DES ACTIFS

5.1 LE RESEAU EN QUELQUES CHIFFRES.

Voici la consistance du réseau ferré national en quelques chiffres ; ces derniers sont tirés du document « Connaissance du Patrimoine 2017 », publié par SNCF Réseau.

Famille d'actifs	Somme	Non affecté	LGV	UIC 2 à 4	UIC 5 et 6	UIC 7 à 9
Voie – km	49'283		4'413	16'538	13'182	15'150
Appareils de voie – u	25'359	494	935	10'401	7'324	6'205
Électrification 25 kV – km	21'545		4'334	7'644	7'607	1'960
Électrification 1,5 kV – km	12'376		79	8'763	2'600	934
Sous-stations – u	575	575				
Postes de traction – u	2069	2069				
Cantonnement – km	29'770	29'770				
Postes – u	2'229	2'229				
Passages à niveau – u	15'405	15'405[14]				
Ponts rails – u	31'910	31'910				
Ponts routes – u	10'641	10'641				
Tunnels – u	1'576	1'576				
Autres ouvrages[15] – u	86'127	86'127				

Tableau 2 : Le réseau en quelques chiffres.

5.2 LES OUVRAGES D'ART

5.2.1 ÉTAT ET SUBSTANCE DU PARC D'OUVRAGES

Le parc d'ouvrages d'art est constitué d'environ 32'000 ponts rails, 10'500 ponts routes, de 1'200 passerelles, 1570 tunnels, plus de 27'000 murs et perrés ainsi que 57'000 petits ouvrages[16].

Le tableau suivant donne la part des ponts (rails et routes) par type de construction, tous les groupes UIC confondus ; les valeurs sont proposées en nombre d'ouvrages

[14] Sur le réseau exploité uniquement.

[15] Passerelles, murs et perrés, petits ouvrages.

[16] Selon « Connaissance du patrimoine », édition 2017, publié par SNCF Réseau.

et en surface de tablier[17], dimension représentative du coût d'entretien et de régénération des ouvrages.

	Nombre	Surface
Maçonnerie	40 %	31 %
Métallique	13 %	15 %
Mixte	22 %	19 %
Béton	25 %	35 %

Tableau 3 : Répartition des ponts (rails et routes) par type de construction, tous les groupes UIC confondus.

Constat 3 :

Les spécialistes de SNCF Réseau ont attiré l'attention des auditeurs au sujet des conséquences de la loi Didier qui prévoit le transfert des charges de maintenance des ouvrages de rétablissement des voies depuis les communes à faible potentiel fiscal vers le gestionnaire de l'infrastructure ferroviaire. SNCF Réseau devrait ainsi hériter d'un certain nombre de ponts qui engendreront, selon ses propres estimations, un coût supplémentaire annuel d'environ 100 M€/an.

La figure suivante en précise la distribution par groupes UIC.

Les chiffres montrent qu'environ la moitié de la surface des ponts des groupes UIC 2 à 4 est constituée d'ouvrages en béton et que la part d'ouvrages en maçonnerie est particulièrement importante sur les lignes des groupes UIC 7 à 9.

Une part importante des tunnels sont construits en moellons assisés, en maçonnerie ordinaire, en béton simple ou projeté (*cf*. Connaissance du Patrimoine 2017, page 12).

Les ouvrages d'art se caractérisent par des durées de vie généralement longues qui dépendent du type de construction ; un pont en maçonnerie datant du milieu du 19ème siècle peut être en meilleur état qu'un ouvrage métallique datant des années 1930.

[17] Source : traitement d'un fichier de données de SNCF Réseau ; les surfaces ont été estimées par les auditeurs, en partant des longueurs élémentaires des ouvrages et de largeurs moyennes estimées (ponts rails : 12 m pour ouvrages situés sur les groupes UIC 2 à 4, 8 m pour ceux situés sur les groupes UIC 5 et 6 et 6 m pour les autres ; ponts routes : 14 m pour les ouvrages situés sur les groupes UIC 2 à 4 et 10 m pour les autres).

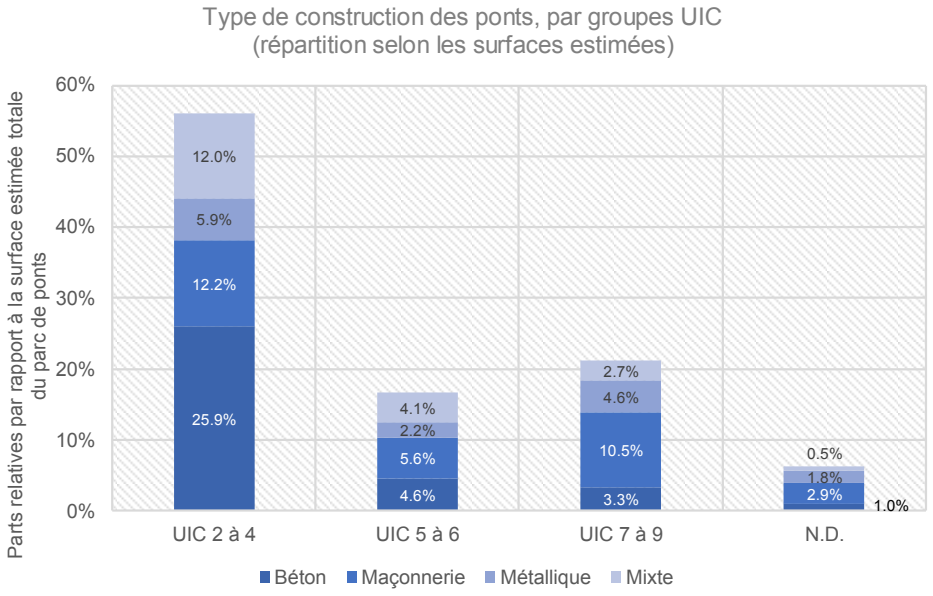


Figure 7 : Nature de construction des ponts (rails et routes), par groupes UIC, selon la surface estimée des ouvrages[17].

La substance du parc d'ouvrages est ainsi mieux décrite par leur note d'état construite sur la base de visites régulières dont ils font l'objet. Les ouvrages sont cotés sur une grille de criticité composée de 5 niveaux d'état (de N1 à N5) que croisent 5 niveaux de criticité de dégradations (G1 à G5). Tous les ouvrages ne sont pas cotés.

Les ouvrages dont la cotation est supérieure ou égale au couple N4 – G4 sont considérés sensibles ; les ouvrages dont la cote est N5 – G5 sont réputés très sensibles.

On constate ainsi que le système de notation affecte une mauvaise note (supérieure au couple N4 – G4) à environ 10 % du parc de ponts, exprimés en surface estimée de tablier (*cf.* la figure suivante). Ce parc est constitué pour la moitié d'ouvrages en maçonnerie puis, à parts à peu près égales, d'ouvrages en béton et d'ouvrages métalliques ; rappelons que ces ratios sont exprimés en surface de tablier.

Comme le montrera les estimations budgétaires liés aux ouvrages d'art, le traitement de ces ouvrages en mauvais état nécessiterait un effort conséquent.

Selon le document « Connaissance du patrimoine 2017 », page 39, le nombre d'ouvrages sensibles n'a cessé de croître depuis 2014, quel que soit le groupe UIC (environ 25 %).

UIC 2 à 4		G1	G2	G3	G4	G5	*Non noté*
Gravité des avaries :		assez faible	faible	moyenne	forte	très forte	
État :	*Non noté*						*39.7%*
très dégradé	N5	0.0%	2.1%	7.1%	9.5%	0.4%	
dégradé	N4	0.1%	1.2%	2.6%	0.8%	0.1%	
médiocre	N3	1.7%	2.9%	3.5%	1.0%	0.0%	
moyen	N2	5.4%	4.4%	2.9%	0.6%	0.0%	
assez bon	N1	6.8%	5.1%	1.6%	0.3%	0.0%	

UIC 5 et 6		G1	G2	G3	G4	G5	*Non noté*
Gravité des avaries :		assez faible	faible	moyenne	forte	très forte	
État :	*Non noté*						*32.2%*
très dégradé	N5	0.0%	2.3%	5.7%	7.3%	0.1%	
dégradé	N4	0.1%	2.3%	3.4%	1.7%	0.0%	
médiocre	N3	1.6%	3.5%	4.4%	1.0%	0.0%	
moyen	N2	5.6%	5.7%	4.5%	1.2%	0.1%	
assez bon	N1	8.5%	4.6%	2.8%	1.3%	0.0%	

UIC 7 à 9		G1	G2	G3	G4	G5	*Non noté*
Gravité des avaries :		assez faible	faible	moyenne	forte	très forte	
État :	*Non noté*						*23.4%*
très dégradé	N5	0.0%	1.0%	4.9%	8.2%	1.1%	
dégradé	N4	0.1%	1.7%	4.6%	2.3%	0.0%	
médiocre	N3	1.5%	3.6%	5.9%	2.2%	0.1%	
moyen	N2	3.6%	5.6%	6.0%	2.1%	0.0%	
assez bon	N1	9.7%	7.1%	4.1%	1.0%	0.0%	

Tableau 4 : Distribution des linéaires estimés de ponts (rails et routes), par catégories de criticité et par groupes UIC.

L'état des tunnels est évalué par longueurs homogènes du point de vue géologique, du point de vue constructif ou du point de vue des désordres constatés. Ainsi, un tunnel peut se trouver en « plusieurs états ».

En raisonnant par longueurs homogènes, on constate que les linéaires dégradés ou fortement dégradés sont marginaux.

Cotation	Bon 0 à 20	Moyen 21 à 40	Médiocre 41 à 60	Dégradé 61 à 80	Très dégradé > à 80
Part du linéaire coté	79.6%	16.7%	3.3%	0.3%	0.1%

Tableau 5 : État des tunnels – cotation des linéaires, source : « Connaissance du Patrimoine 2017 », SNCF Réseau.

En étendant la cotation de ces linéaires aux tunnels correspondants, en considérant que ces derniers héritent de la note de leur plus mauvais tronçon, on obtient une distribution du nombre d'ouvrages par classe d'état. Cette distribution montre que le nombre de tunnels classés en état dégradé et très dégradé demeure stable de 2009 à 2016.

Année	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Nombre de tunnels	120	119	115	118	108	111	107	110
Pourcentage du parc	8.1 %	8.0 %	7.8 %	8.0 %	7.3 %	7.5 %	7.2 %	7.4 %

Tableau 6 : Nombre de tunnels et part du parc en état dégradé ou très dégradé ; source : « Connaissance du Patrimoine 2017 », SNCF Réseau.

L'évolution de la cotation moyenne des tunnels, telle qu'illustrée par la figure de la page 41 du document « Connaissance du Patrimoine 2017 » est :

- favorable pour les ouvrages situés sur les groupes UIC 2 à 4,
- stable pour les ouvrages situés sur les groupes UIC 5 et 6 et
- défavorable pour les ouvrages situés sur les groupes UIC 7 à 9 AV.

Par ailleurs, les spécialistes de SNCF Réseau affirment que la problématique des voûtes du type de celle du tunnel de Vierzy[18] est résolue.

Les auditeurs n'ont pas procédé à l'analyse du parc des petits ouvrages sous voie.

Constat 4 :

Le parc des ponts routes et ponts rails comprend une part d'ouvrages en mauvais ou très mauvais état ; cette part représente environ 10 % de la surface d'ouvrages ; elle n'est donc pas négligeable. En matière de tunnels, la part de linéaire de souterrains en mauvais état est marginale mais la cotation moyenne des ouvrages situés sur les lignes des groupes UIC 7 à 9 se dégrade.

Les auditeurs n'ont pas procédé à l'évaluation des petits ouvrages mais attirent l'attention sur le fait que leur nombre est élevé ; les besoins liés à leur maintenance ne doivent pas être négligés.

5.2.2 COMMENTAIRES SUR LES POLITIQUES DE MAINTENANCE DES OUVRAGES D'ART

Les auteurs du rapport EPFL de 2005 préconisaient un rééquilibrage de la politique de maintenance des ouvrages d'art vers d'avantage de préventif, de telle manière à permettre de meilleurs coûts de cycle de vie : « *Toutefois, ces gains ne sont possibles que par l'abandon de la politique actuelle, basée sur le court terme, et qui*

[18] Une combinaison de facteurs, dont le vieillissement de la voûte maçonnée, ont provoqué un effondrement dans le tunnel de Vierzy, engendrant une catastrophe ferroviaire, le 16 juin 1972.

consiste à parer au plus pressé. Bien entendu, l'abandon de cette politique passe par la suffisance des budgets de maintenance. »

Ils proposaient également « *L'amélioration de l'utilisation des ressources passe par une meilleure planification des besoins en intervention. Une approche basée sur le coût du cycle de vie des ouvrages d'art fait défaut. D'autre part, la gestion de la maintenance ne repose pas suffisamment sur des outils d'aide à la décision permettant de comparer des variantes d'interventions sur la base de critères quantitatifs objectifs. La mise en œuvre d'un outil de gestion intégré permettrait de fédérer tous les acteurs de la maintenance des ouvrages d'art autour d'une méthodologie commune, assurant une circulation saine de l'information, une homogénéité des critères de décisions et un retour en force d'une planification tactique et opérationnelle au niveau intermédiaire de l'entreprise.* »

Les auteurs pensent que ces recommandations sont toujours valables.

Recommandation 1 :

La durabilité des ouvrages d'art ainsi que l'efficience de leur maintien en état profiteraient d'une politique de maintenance axée d'avantage sur l'action préventive que l'action corrective.

Les outils de planification devraient être en mesure d'évaluer des stratégies d'interventions à long terme, permettant ainsi d'optimiser le coût du cycle de vie des ouvrages. Ceci contribuerait à l'émergence d'une vision commune à l'entreprise en matière de stratégie d'actifs.

5.3 LES OUVRAGES EN TERRE

5.3.1 ÉTAT ET SUBSTANCE DU PARC D'OUVRAGES EN TERRE

La stabilité des ouvrages en terre dépend de 3 classes de paramètres :

- les caractéristiques intrinsèques des ouvrages qui sont susceptibles d'influencer la stabilité (la morphologie, les contextes géologique et hydrogéologique, les caractéristiques mécaniques) ;
- les facteurs externes (précipitations, infiltrations et présence d'eau, cycles locaux de températures, cycles de gel et de dégel, etc. ;
- les conditions d'exploitation auxquelles sont soumis les ouvrages, qui exercent un impact essentiellement sur les plateformes directement soumises à la charge de trafic.

La durée de vie résiduelle d'un ouvrage en terre est conditionnée par sa stabilité initiale, par l'évolution lente de cette stabilité (altérations graduelles des caractéristiques internes à l'ouvrage, augmentation des sollicitations) ainsi que par l'occurrence d'événements externes exceptionnels (fortes pluies par exemple).

Les ouvrages en terre constituent ainsi une famille d'actifs très étendue (tous les ouvrages ne sont pas répertoriés) et naturellement très hétérogènes, tant sur le plan de leur constitution que sur celui des contextes dans lesquels ils se trouvent. En conséquence, il n'existe pas, à l'heure actuelle[19], de mesure systématique et exhaustive de l'état des ouvrages en terre, d'autant plus que la caractérisation de cet état demeure plutôt complexe.

Le métier raisonne alors à l'aide d'une approche par les risques, en isolant les ouvrages problématiques (désordres récurrents, fragilités connues, etc.). Ces ouvrages sont classés en deux catégories :

- les ouvrages en terre sensibles, objets d'une surveillance spécifique car ils ont connu plusieurs désordres,
- les ouvrages en terre particuliers, « *pour lesquels la maîtrise du risque est assurée par l'entretien d'une ou plusieurs particularités (dispositifs de drainage, dispositifs de protection, confortements, …) dont le dysfonctionnement pourrait entraîner un incident* » (tiré de « Connaissance du Patrimoine 2017 »).

Le tableau de la page suivante montre l'évolution de la consistance de ces deux familles d'ouvrages en terre.

Le nombre d'ouvrages classés sensibles diminue progressivement, signe d'un effort de traitement en profondeur des ouvrages à désordres récurrents (ouvrages récidivistes)

À l'inverse, le nombre d'ouvrages particuliers, nécessitant une maintenance lourde et régulière ne cesse de croître, conjonction d'une dégradation de l'état moyen des ouvrages en terre et d'une meilleure maîtrise du risque de la part de SNCF Réseau.

[19] Les nouvelles technologies de surveillance, les techniques de *big data* ainsi que les algorithmes de traitement de l'image permettront sans doute une industrialisation plus poussée de la surveillance du patrimoine des ouvrages en terre ; le *business case* d'une telle stratégie reste cependant à établir.

	OT Sensibles				OT Particuliers			
	Déblais meubles	Remblais	Déblais rocheux	**Total**	Déblais meubles	Remblais	Déblais rocheux	**Total**
2010	1829	2269	4518	**8616**				
2011	1746	2054	4572	**8372**	159	204	147	**510**
2012	1592	1848	4544	**7984**	330	297	315	**942**
2013	1513	1658	4663	**7834**	423	355	476	**1254**
2014	1469	1532	4694	**7695**	637	460	725	**1822**
2015	1374	1417	4637	**7428**	682	482	776	**1940**
2016	1376	1398	4628	**7402**	687	484	779	**1950**

Tableau 7 : Évolution du nombre d'ouvrages sensibles et particuliers ; source : recensement provenant de SNCF Réseau (I&P).

Selon le document « Dossier de synthèse – Patrimoine OT Classes 2016 » de la Direction de l'ingénierie et de projets, la plupart des ouvrages classés sensibles se trouvent dans les Pyrénées, dans les Alpes, dans le Jura ainsi que dans le massif central ; ceci n'étonnera personne. Constat plus délicat, selon la même source, 52 % des ouvrages sensibles ou particuliers se trouvent sur les lignes des groupes UIC 7 à 9 ; cette distribution est logique mais accentue le sujet de la rentabilité socio-économique du maintien en exploitation de ce sous-réseau.

Les spécialistes de SNCF Réseau signalent également le sujet des ouvrages en terre qui portent également une fonction de sécurité publique. Dix pourcents du linéaire de SNCF Réseau se situe en zones inondables associées à des crues de temps de retour de 10 à 30 ans (fréquent) jusqu'à 300 ans (extrême). Le sujet concerne environ 200 ouvrages dont une petite dizaine d'ouvrages ont été classés sécurité publique et nécessitent des interventions particulières.

Le traitement à court et moyen terme de l'ensemble du parc sensible est estimé par SNCF Réseau à environ 100 M€.

Constat 5 :

La maîtrise des ouvrages en terre récidivistes s'est améliorée, leur nombre diminue ; le volume d'ouvrages particuliers augmente, signe du risque de représente cette famille d'actifs pour le réseau.

Notons que la moitié des ouvrages en terre sensibles ou particuliers sont situés sur les lignes des groupes UIC 7 à 9 ; ceci accentue le sujet de la rentabilité socio-économique du maintien en exploitation de ce sous-réseau.

Selon SNCF Réseau, l'entretien des ouvrages sensibles du point de vue de la gestion des inondations (sécurité publique) devrait absorber 100 M€ au cours des 10 à 20 prochaines années.

5.3.2 POLITIQUE DE MAINTENANCE DES OUVRAGES EN TERRE

Les auditeurs ne formulent aucune remarque sur les principes techniques définis par les politiques d'entretien et de renouvellement préconisées par les référentiels de SNCF Réseau.

Les auteurs de l'audit Rivier soulignaient l'importance de la maintenance préventive, constituée essentiellement de la maîtrise de la végétation et du curage régulier des dispositifs de drainage. Il semble que, depuis 2005, des moyens supplémentaires aient été consacrés à la mise en œuvre de ces actions.

Recommandation 2 :

Les auditeurs estiment qu'une attention plus forte devrait être portée à la régénération des plateformes, des systèmes de drainage et de ouvrages hydrauliques lors de travaux de renouvellement de la voie. Le contrôle budgétaire des projets tend à sacrifier ce type d'interventions, ce qui réduit la durabilité de la voie[20].

5.4 LA VOIE ET LES APPAREILS DE VOIE

5.4.1 ÉTAT ET SUBSTANCE DU PARC DE VOIES ET D'APPAREILS DE VOIE

Le parc de voies et d'appareils de voie est constitué de 49'283 km[21] de voies principales exploitées dont 30 % se trouvent sur les lignes des groupes UIC 7 à 9, caractérisées par un niveau de trafic relativement faible ; le sujet est bien connu.

Le taux d'armement moderne (traverses en béton, système d'attaches élastiques, longs rails soudés de profil de 50 à 60 kg/m) est élevé sur les voies des groupes UIC

[20] Le cas de la grande opération de régénération de la ligne Bayonne – Hendaye illustre parfaitement les conséquences d'un traitement négligé des ouvrages en terre et des systèmes de drainage : des difficultés de tenue de la géométrie de la voie sont apparues une année seulement après le renouvellement de la voie.

[21] L'ensemble des éléments chiffrés sont tirés du document « Connaissance du patrimoine 2017 » publié par SNCF Réseau.

2 à 6, LGV comprises. La situation est moins réjouissante sur les voies des groupes UIC 7 à 9 avec voyageurs (entre 50 et 60 % d'armement moderne), voire dégradée sur les voies des groupes UIC 7 à 9 sans voyageurs. Le constat ne surprendra personne.

Le réseau comprend également 25'359 appareils de voie principale dont 18'660 sont situés sur les groupes UIC 2 à 6, y-compris les LGV ; les lignes des groupes UIC 7 à 9 en comptent 6'205 ; 494 ne sont pas affectés à un groupe UIC.

Le parc comprend également un réseau de voies de service qui totalise 11'638 km de voies, dont 3'278 sont électrifiées, ainsi que 38'917 appareils de voie de service.

Le réseau ferré national constitue ainsi le deuxième réseau le plus étendu d'Europe, derrière celui de l'Allemagne.

L'état et la substance des voies et des appareils de voie s'apprécie en observant la pyramide des âges des actifs, ou la part de linéaire hors d'âge, ainsi que l'évolution de l'âge moyen relatif au cours du temps.

SNCF Réseau a construit un indicateur spécifique d'âge moyen relatif, qu'elle appelle l'indice de consistance de la voie (l'ICV) ; plus le tronçon de voie est récent, plus la note ICV est élevée (au maximum 100) ; petite particularité, un actif en fin de vie (la durée de vie résiduelle est nulle) reçoit une note 10 ; la note 0 n'est atteinte qu'après 5 ans supplémentaires.

Les deux figures suivantes illustrent l'évolution de l'ICV.

La trajectoire patrimoniale des voies des lignes à grande vitesse suit un cours normal, l'ICV tend vers une asymptote verticale entre 50 et 55. Les appareils de voie ont suivi une trajectoire similaire mais qui se stabilise autour d'un ICV que nous estimons relativement faible.

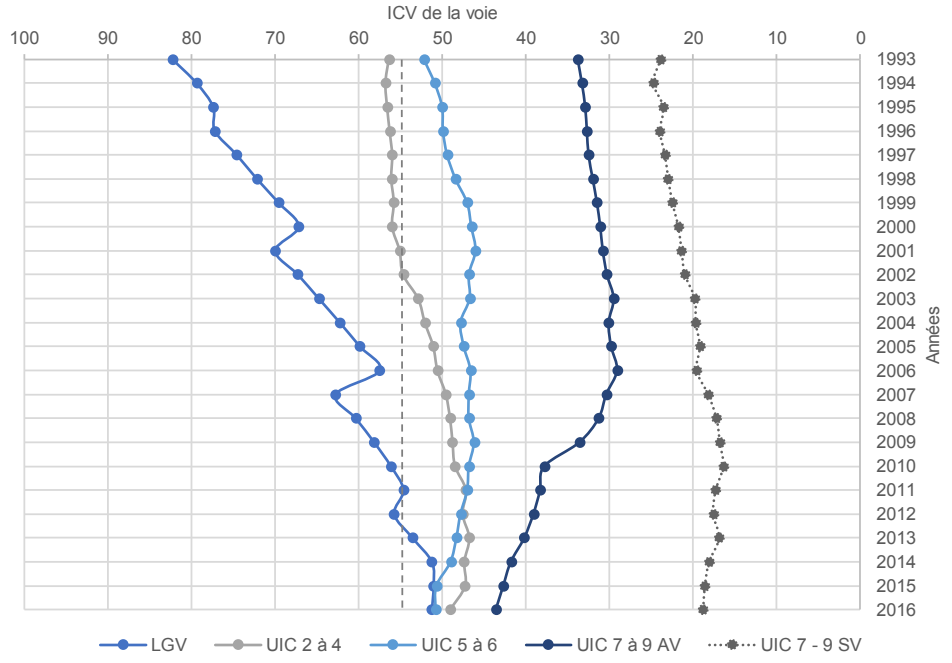


Figure 8 : Évolution de l'ICV de la voie, source : « Connaissance du patrimoine 2017 ».

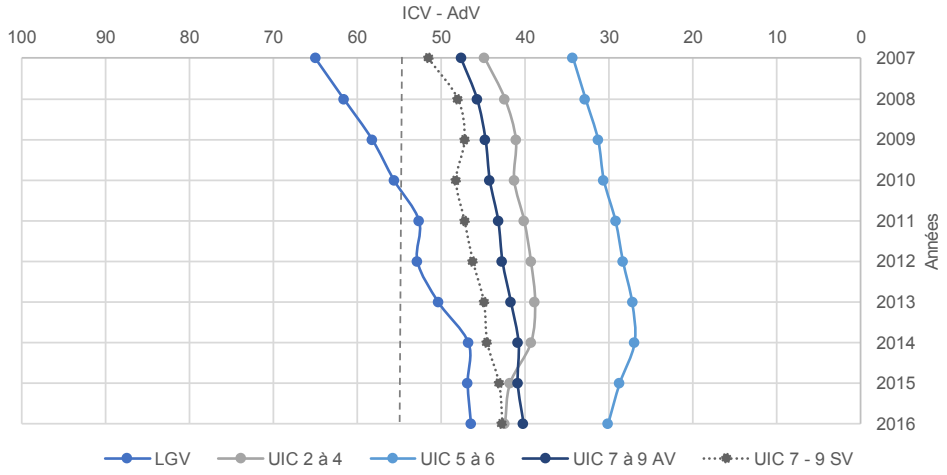


Figure 9 : Évolution de l'ICV des appareils de voie

La trajectoire patrimoniale des voies des groupes UIC 2 à 4 a connu une dérive entre 1997 et 2010 ; une part importante des efforts de renouvellement avait porté sur les lignes des groupes UIC 5 à 6 et UIC 7 à 9 ; aujourd'hui, l'évolution de l'ICV montre une correction de cette dérive.

La trajectoire des appareils de voie a également connu une dérive jusqu'en 2013 ; depuis l'ICV s'est amélioré mais se stabilise à une valeur que les auditeurs estiment basse (l'âge moyen est encore trop élevé).

L'ICV des voies des groupes UIC 5 à 6 s'est amélioré de 2005 à 2012 et s'est stabilisé depuis, à une valeur d'environ 50.

La trajectoire des appareils de voie n'est guère réjouissante mais s'améliore légèrement depuis 2014 ; la valeur de l'ICV demeure cependant très basse (peu de substance).

L'ICV des voies des groupes UIC 7 à 9 AV s'améliore depuis 2007 mais la part de patrimoine de voies hors d'âge demeure élevée. La substance des appareils de voie continue à se dégrader.

La problématique des lignes des groupes UIC 7 à 9 SV est bien connue...

La figure ci-dessous représente l'évolution de l'ICV de la voie en rapport avec les montants investis en régénération par kilomètre de voie.

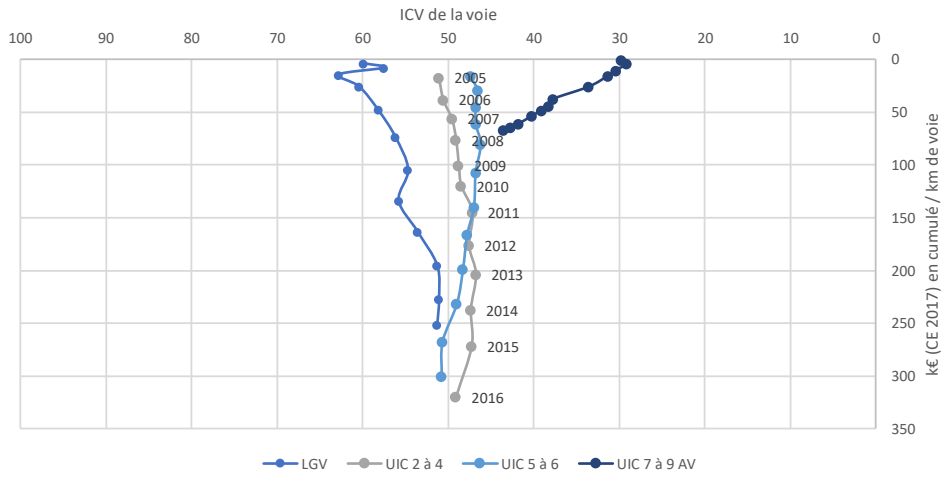


Figure 10 : Trajectoire de la voie de 2005 à 2016 ; elle exprime l'évolution de l'ICV en regard des volumes investis par kilomètre de voie ; source : données fournies par SNCF Réseau.

Le graphique montre que :

- la dérive de la substance des voies des groupes UIC 2 à 4 a été stoppée ; l'effort de régénération commence à porter ses fruits mais devrait être poursuivi au cours des prochaines années ;
- le maintien de l'ICV des lignes à grande vitesse, que l'on imagine plutôt modernes, nécessite des dépenses de régénération importantes ; en effet,

les tronçons les plus anciens atteignent la quarantaine d'années ; les montants à consacrer au renouvellement des lignes à grande vitesse devront sans doute demeurer importants, voire augmenter.

Les dérives sont jugulées mais demeure néanmoins une part importante de voies ayant dépassé leur durée de vie de planification ; cette augmentation généralisée s'est accélérée entre 2000 et 2010, période à partir de laquelle les efforts de renouvellement de la voie ont porté leur fruit, d'abord sur les voies des groupes UIC 5 à 6, UIC 7 à 9 (mais les effets sont marginaux) et depuis 2014 sur les groupes UIC 2 à 4.

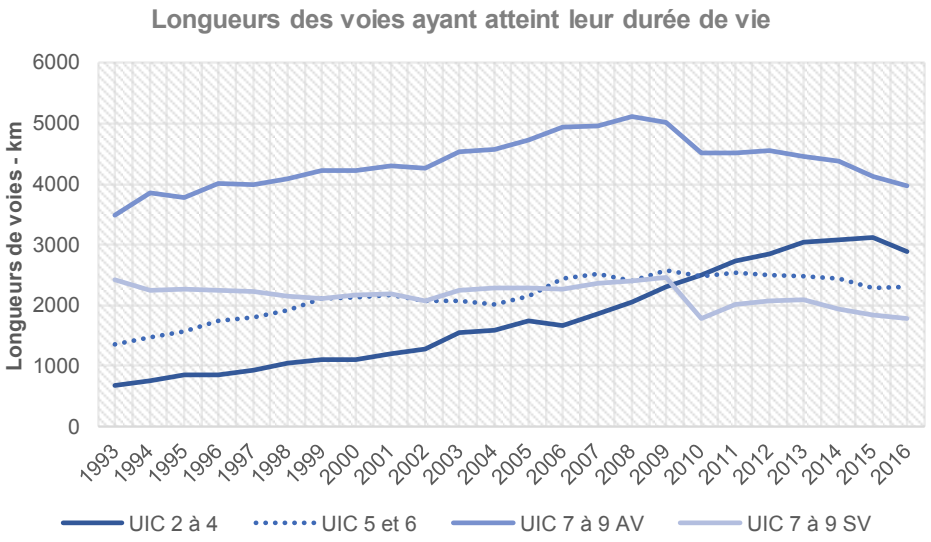


Figure 11 : Évolution du linéaire de voie hors d'âge.[22]

Cette figure illustre parfaitement à la fois les effets des efforts consentis depuis 2007 mais également l'importance des efforts qui sont encore à fournir afin d'éradiquer les linéaires hors d'âge.

5.4.2 Politiques de maintenance et sujets industriels

Équilibre entre depenses d'entretien et depenses de renouvellement

Les comparaisons internationales régulières indiquent que les politiques de maintenance de la voie jugée les plus pertinentes du point de vue économique orientent deux tiers de l'effort financier sur le renouvellement des équipements.

[22] Selon « Connaissance du patrimoine 2017 » publié par SNCF Réseau.

Sous-réseaux	Part de renouvellement	Part d'entretien
LGV	51 %	49 %
Groupes UIC 2 à 6	62 %	38 %
Groupes UIC 7 à 9	31 %	69 %

Tableau 8 : Rapports entre dépenses d'entretien et de renouvellement de la voie, sur la période 2009 – 2015.[23]

Comme l'illustre le tableau précédent, la tendance suivie sur les voies des groupes UIC 2 à 6 est favorable. Le ratio que l'on constate dans le cas des lignes à grande vitesse est caractéristique d'un patrimoine homogène et relativement moderne ; le ratio glissera progressivement vers une hausse de la part d'investissement avec la montée en puissance du renouvellement des composants de la voie. Enfin, le ratio propre aux voies des groupes UIC 7 à 9 illustre parfaitement la politique de non investissement dont elles font l'objet.

Focus Île-de-France

La Direction de l'asset management de SNCF Réseau Île-de-France préconise une politique de maintenance des voies davantage axée sur le préventif.

Premièrement, les durées de vie des composants de la voie ainsi que les principes de renouvellement (renouvellement voie-ballast en fin de vie et renouvellement des rails pendant le cycle de vie) correspondent aux bonnes pratiques européennes en la matière, en zone dense.

La politique de maintenance des rails est également remarquable, dans le sens qu'elle privilégie leur renouvellement « anticipé » (anticipé par rapport à la politique nationale), dans les zones critiques. Cette politique permet de réduire le risque de défauts de rails ainsi que les besoins de couponnages.

Les auditeurs ne peuvent qu'encourager cette pratique.

OPTIMISATION DES TOURNEES DE SURVEILLANCE CHALEUR

De nombreux aménagements ont été apportés à la politique de surveillance du LRS pendant la période chaude, visant à simplifier le travail des mainteneurs et à alléger la surveillance. D'autres projets sont en cours, notamment la modification du seuil à partir duquel les tournées chaleur sont déclenchées (passage de la température seuil du rail de 45°C à 50°C).

[23] Les dépenses d'entretien comprennent l'ensemble des comptes associés aux familles d'installations voies principales, appareils de voie principale, voies de services ainsi que les comptes associés à la famille « ensemble des installations ferroviaires » mais relevant de l'entretien de la voie.

Les auditeurs estiment que ces initiatives sont positives. Ils constatent, par ailleurs, que, malgré une augmentation forte du nombre de zones sensibles, le nombre de déformations reste relativement constant. Ceci tend à montrer, de manière empirique, que les longs rails soudés sont plus robustes que ce que les référentiels suggèrent.

Comparaison internationale :

D'autres réseaux européens ont assoupli leurs directives en matière de surveillance des longs rails soudés, sans difficulté subséquente notoire.

Recommandation 3 :

Les considérants techniques sous-jacent aux référentiels traitant des longs rails soudés datent de plusieurs décennies. Il est souhaitable d'envisager une refonte de ces textes réglementaires, à l'aune de modèles physiques les plus modernes ainsi que sur la base de l'imposant retour d'expériences dont on dispose aujourd'hui.

Cet exercice permettrait à termes un allègement des besoins de surveillance et d'entretien des longs rails soudés tout en maintenant le niveau de sécurité actuel.

INDUSTRIALISER LE REMPLACEMENT DES COUPONS DE RAILS

En 2009, les auditeurs constataient qu'environ 14'000[24] coupons de rails étaient remplacés chaque année, par des moyens peu mécanisés.

On ne constate aucune évolution notable dans la technique de couponnage en tant que telle. Cependant, SNCF Réseau expérimente une technologie susceptible de réduire de manière forte le besoin de couponnage. Le procédé HWR consiste à retirer par fraisage la partie du champignon ou de l'âme du rail abritant un défaut ; le rail est ensuite reconstruit par rechargement aluminothermique. Selon les spécialistes de SNCF Réseau, le procédé permettrait de traiter les défauts classés « O » et une part de ceux classés « X ». Mille réparations ont été réalisées durant l'année 2017 et le recours à cette technique rapide et économique (elle ne nécessite qu'un seul soudeur accompagné d'un assistant) devrait monter en puissance.

Recommandation 4 :

Les auditeurs estiment qu'il s'agit d'une technique prometteuse, susceptible d'alléger à la fois la charge d'entretien des rails et les contraintes capacitaires relatives aux fenêtres travaux. Notons, cependant, qu'au moins un réseau ferré européen a

[24] Valeur 2007.

renoncé à cette technique, pour des raisons de fiabilité et de durabilité de la réparation.

L'arrivée de cette technique, de nature corrective, ne doit pas mettre en péril la nouvelle politique de renouvellement préventif des rails, notamment en zones sensibles à la fatigue de contact rail-roue ou en zones denses.

INTEGRATION DES APPAREILS DE VOIE DANS LE SYSTEME LRS PAR SOUDAGE

Les auteurs de l'audit de 2009 constataient que de nombreux appareils de voie n'étaient pas intégrés (pas soudés) dans le système LRS.

Lors des interviews, les auditeurs ont appris que tous les appareils qui peuvent réglementairement être incorporés l'ont été. Certaines traversées-jonctions[25] ont dû être désincorporées, car on y constatait des problèmes de géométrie à la période chaude (il s'agit d'une problématique que ne rencontre CFF Infrastructure, par exemple).

Dans le même esprit que celui de la recommandation numéro 3, les auditeurs estiment nécessaire d'interroger les référentiels traitant des longs rails soudés.

SUJETS DIVERS

SNCF Réseau a mis en œuvre plusieurs mesures aux effets positifs que les auditeurs souhaitent souligner :

- la mise en place d'un plan de maintenance des abords de la voie qui a permis de structurer l'expression de besoins ; ces derniers sont cependant insuffisamment financés ; on souligne également l'émergence de nouveaux modèles industriels basé sur l'externalisation des études et la rédaction des plans de maintenance par des structures d'ingénierie forestière ;

- la conception d'une gamme d'appareils de voie modernes (60D, 50D, MIM, MIEH) ; ces appareils introduisent notamment l'aiguille basse, et généralisent l'utilisation de rouleaux d'aide à l'inversion. L'aiguille MIEH est manœuvrée hydrauliquement, par un moteur monté dans une traverse creuse ; ces innovations technologiques représentent un indéniable progrès.

Au sujet des appareils de voie, les auditeurs ajoutent que e travelage de joint est un concept qui n'existe pas sur tous les réseaux (en Suisse par exemple, les joints sont

[25] Type d'appareils de voie à quatre branches et particulièrement complexe.

simplement positionnés dans une chambrée normale, mais décalés par rapport à son axe). Dans les appareils de voie, la mise en œuvre du travelage de joint rend le bourrage mécanique lourd difficile, et peu efficace. Ceci est particulièrement vrai dans les traversées – jonctions.

5.5 LES CATENAIRES

5.5.1 ÉTAT ET SUBSTANCE DES SOUS-STATIONS ET DES CATENAIRES

Le réseau ferré national compte 34'102 km[26] de voies électrifiées, dont 63 % en tension de 25 kV 50

Sous-réseaux	Part de voies électrifiées	Part de 25 kV
LGV	100 %	98 %
Groupes UIC 2 à 4	99 %	47 %
Groupes UIC 5 et 6	77 %	74 %
Groupes UIC 7 à 9	22 %	64 %

Tableau 9 : Consistance de l'électrification du réseau ferré national.[27]

Les caténaires sont alimentées par 575 sous-stations de traction électrique, dont 396 délivrent du 1500 V et 155 du 25 kV. Vingt-quatre sous-stations complètent le parc ; elles fournissent d'autres types de tensions.

Le parc compte également 2069 postes de traction électrique, 15 centraux sous-stations (qui assurent le pilotage du réseau de traction électrique) ainsi que 117 km de ligne à haute tension de 15 à 63 kV.

Les caténaires n'ont jamais fait l'objet de campagnes de renouvellement ; le maintien en condition opérationnelle a essentiellement consisté au remplacement ponctuel de composants de l'armement et bien entendu au renouvellement régulier du fil de contact.

Les pyramides des âges des électrifications tracent clairement l'histoire de l'électrification du réseau ferré national :

[26] L'ensemble des éléments chiffrés sont tirés du document « Connaissance du patrimoine 2017 » publié par SNCF Réseau.

[27] Les dépenses d'entretien comprennent l'ensemble des comptes associés aux familles d'installations voies principales, appareils de voie principale, voies de services ainsi que les comptes associés à la famille « ensemble des installations ferroviaires » mais relevant de l'entretien de la voie.

- les débuts de l'âge de la traction électrique, en 1500 V, datant des années 1930 ; ces électrifications sont âgées de plus de 80 ans et comptent environ 800 km de caténaires de type « Midi » ;
- l'électrification du Nord Est en 25 kV dans la période d'après-guerre ;
- l'électrification plus récente des lignes à grande vitesse et de certains axes nationaux importants.

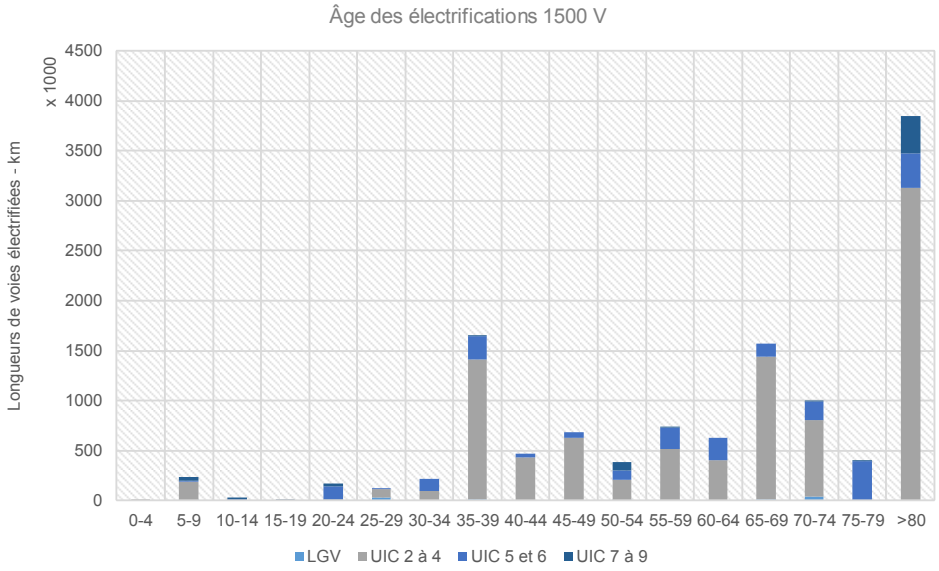


Figure 12 : Pyramide des âges des électrifications en 1'500 V[28].

L'âge de l'électrification, qui n'est théoriquement qu'un marqueur imparfait de l'état des caténaires, constitue ici un indicateur raisonnable du fait de la faiblesse des politiques de maintenance passées : mise en peinture insuffisante des structures métalliques et remplacement pièce par pièce des composants conduisant au mitage des armements.

On peut ainsi considérer que les caténaires datent des campagnes successives d'électrification du réseau et que le patrimoine se caractérise par un linéaire hors d'âge important et une substance hétérogène ; les linéaires les plus anciens se trouvent dans un état peu propice à un maintien en condition opérationnelle efficace et économique.

[28] Données provenant des bases de données ARMEN et traitées par les auditeurs.

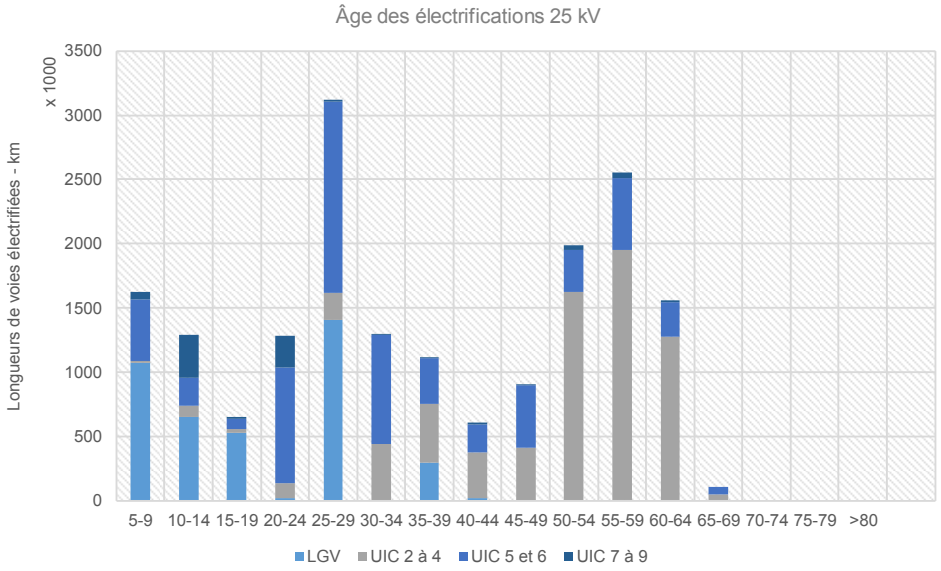


Figure 13 : Pyramide des âges des électrifications en 25 kV[28].

La pyramide des âges des sous-stations (partie électrique) et des postes de traction (partie électrique également) est plus favorable ; la pyramide est plus équilibrée. Remarquons néanmoins que 25 % du parc (en valeur à neuf) se situe dans le dernier quart de vie et que 10 % peut être considéré « hors d'âge ».

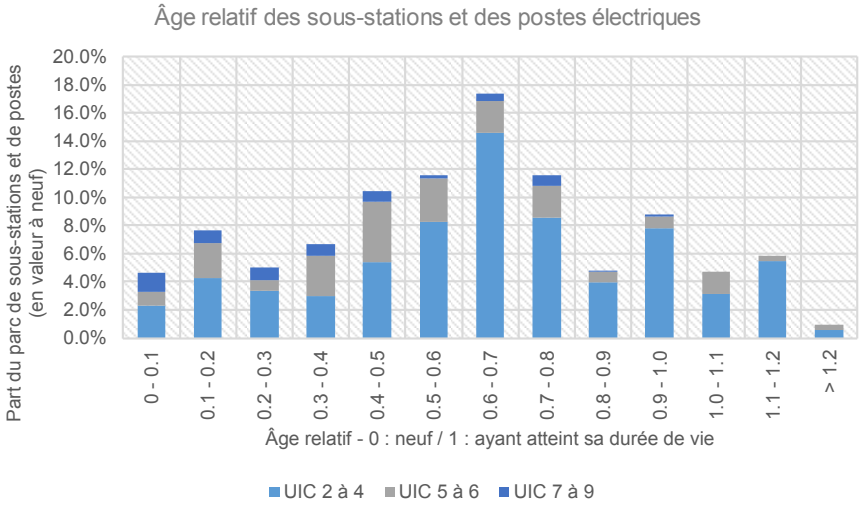


Figure 14 : Pyramide des âges relatifs des postes et des sous-stations[28] .

5.5.2 POLITIQUES DE MAINTENANCE ET SUJETS INDUSTRIELS

POLITIQUE DE RENOUVELLEMENT

Les auditeurs constatent que la politique de maintenance préconisée par SNCF Réseau abandonne le principe de la « Tour Eiffel », c'est-à-dire le maintien en service des supports caténaires uniquement par mise en peinture et réparation. SNCF Réseau prévoit aujourd'hui une politique axée sur le renouvellement partiel ou intégral des caténaires, en fonction de leur état et de leur technologie. Il s'agit d'une bonne pratique.

Comparaisons internationales

Aucun des réseaux consultés ne pratique la politique de la « Tour Eiffel » ; la stratégie de renouvellement la plus fréquente consiste à renouveler les structures au bout de 60 à 80 ans et de procéder au remplacement de l'armement (ou de parties de l'armement) à mi-vie.

Focus Île-de-France

En sus de l'obsolescence de certains tronçons de caténaires (caténaires du RER C par exemple), l'Île-de-France fait face à une fragilité structurelle de son réseau d'alimentation électrique de traction qui impacte la robustesse de l'exploitation du réseau.

Le découpage électrique du réseau (position des sectionnements, habilité à isoler de façon individuelle des voies) date de l'origine des électrifications et n'est pas le plus adapté aux exigences actuelles de l'exploitation ; les incidents électriques locaux tendent à provoquer la mise hors tension de part importante du réseau.

Il semble difficile de résoudre cette situation à court et moyen terme, à des coûts supportables. Cependant, le renouvellement de tronçons importants de caténaire doit être l'occasion de reconcevoir le sectionnement électrique.

SUJETS DIVERS

Les auditeurs relèvent les évolutions positives suivantes depuis les audits précédents :

- SNCF Réseau poursuit, en partenariat avec d'autres gestionnaires d'infrastructure européens, la fiabilisation de la mesure de l'épaisseur du fil de contact ;
- les archets des pantographes sont essentiellement en carbone, favorisant la durée de vie des fils de contact ;

- la mise en œuvre de la méthode de diagnostic OSTEOCAT permet de mieux appréhender l'état de la caténaire par tronçons homogènes et, ainsi, de mieux planifier la maintenance ; les outils informatiques associés permettent de prédire l'évolution du niveau d'usure des fils de contact et d'améliorer le pilotage de l'émergence du remplacement de tirs ; cette bonne pratique devrait conduire à une réduction du nombre de baguettes qu'il est nécessaire de poser.

Les auditeurs constatent en revanche que les méthodes d'intervention dans la caténaire sous tension n'ont pas connu l'évolution que l'on aurait pu espérer. Il s'agit essentiellement de méthodes légères destinées à retirer des corps étrangers à l'aide de perches isolantes ; aujourd'hui, les mesures de sécurité demeurent conséquentes.

5.6 Les installations de signalisation

5.6.1 État et substance de installations de signalisation

Les équipements de signalisation du réseau comptent 750 postes électriques à relais, 255 postes électriques combinant relais et commandes informatisées, 288 postes informatiques. Subsistent dans le parc 699 postes mécaniques, technologie aujourd'hui totalement obsolète.

Le réseau est équipé de 1982 km de signalisation en cabine pour lignes à grande vitesse, de 17'299 km de blocks automatiques, de 4012 km de blocks manuels enclenchés, technologie obsolète, ainsi que 6'477 km d'installations de cantonnement de technologies diverses, plus ou moins obsolètes.

En signalisation, l'état et la fiabilité d'un équipement ne sont qu'indirectement corrélés à son âge ; le renouvellement d'un équipement, ou plutôt d'une série d'équipements, est essentiellement motivé par des questions d'obsolescences et de vieillissement :

- obsolescence technique lorsque la maintenabilité n'est plus garantie du fait de l'absence de pièces de rechange ou de la raréfaction des compétences nécessaires à exécuter la maintenance ;
- obsolescence technologique lorsque les nouvelles technologies proposent de meilleures options (meilleur rendement, fonctionnalités étendues, etc.) ;
- obsolescence fonctionnelle lorsque l'exploitation du réseau requiert une extension des fonctions ;

- vieillissement lorsque les propriétés physico-chimiques des équipements ne répondent plus aux exigences de fonctionnement ; le vieillissement des isolants des fils électriques en est un exemple.

La substance du parc est ainsi appréhendée à la fois par l'âge des équipements par familles technologiques.

La pyramide des âges des postes montre :

- que le part des postes mécaniques demeure élevée bien que ce chiffre puisse être relativisé : ce sont des postes contrôlant un nombre réduit d'objets (appareils de voies, signaux) et situés en général sur des lignes à faible trafic ;

- qu'une part importante de postes électriques approchent ou ont dépassé leur durée de vie, que l'on estime généralement à 60 – 65 ans ;

- que les postes informatiques de première génération atteignent une vingtaine d'années ; on estime leur durée de vie à 30 ans environ.

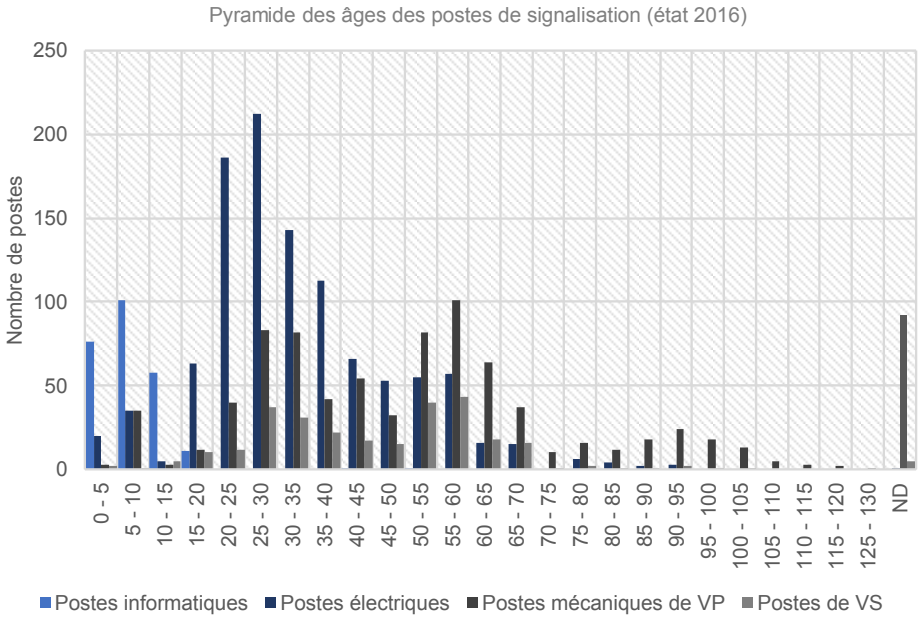


Figure 15 : Pyramide des âges des postes de signalisation[29].

L'évolution des indices de consistance des postes[30] souligne le vieillissement moyen du patrimoine ; les trajectoires par technologies sont « normales » – les postes

[29] La pyramide est construite à partir du fichier « État des IS », référence 2016.

électriques vieillissent car on les remplace par des postes informatiques – mais l'âge moyen du parc augmente de manière continue.

La structure de la pyramide des âges des blocks est similaire à celle des postes ; une part importante des linéaires de blocks approchent ou ont dépassé leur durée de vie, que l'on estime généralement à 60 – 65 ans.

Ces éléments d'analyse laissent présager d'une hausse sensible des investissements qui seront nécessaires au maintien de la substance des équipements de signalisation.

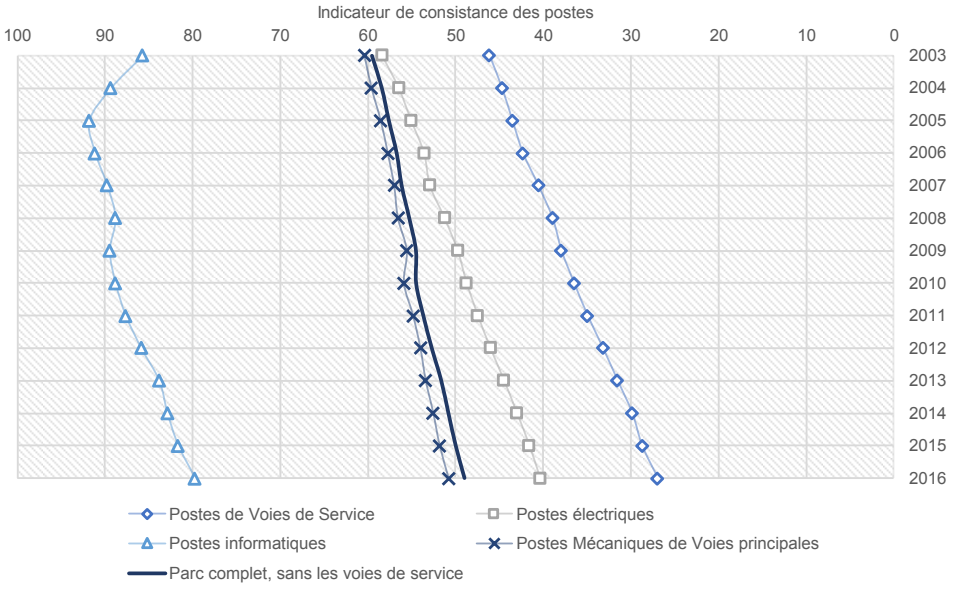


Figure 16 : Évolution de la substance des postes de signalisation[29].

[30] Cet indice, qui s'apparente à celui de la voie mais sans la convention qui veut qu'un équipement en fin de vie bénéficie encore d'une note de 10, est calculé sur la base de l'âge moyen relatif pondéré qu'utilisent usuellement les auditeurs.

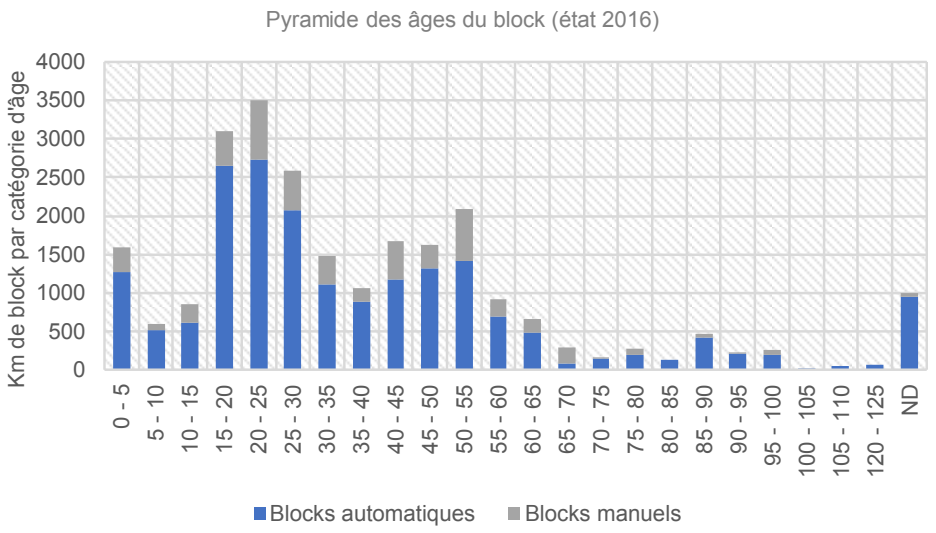


Figure 17 : Pyramide des âges des blocks[29].

5.6.2 POLITIQUES DE MAINTENANCE ET SUJETS INDUSTRIELS

STRATEGIE DE RENOUVELLEMENT DES INSTALLATIONS DE SIGNALISATION

Le renouvellement des équipements de signalisation a été, jusqu'à récemment, subordonné au programme de commande centralisée du réseau (CCR). Le ralentissement de ce dernier a provoqué une divergence croissante entre la modernisation de la conduite de l'exploitation du réseau et les enjeux de maintien de la substance des équipements.

En d'autres mots, le programme CCR ne permet plus de maîtriser l'obsolescence et le vieillissement des équipements de signalisation.

À ceci, s'ajoutent les exigences liées au déploiement de l'ETCS sur les corridors RTE-T.

Dans ce cadre-là, SNCF Réseau a lancé début 2017 un travail de fond sur la stratégie de la modernisation de la signalisation[31]. Cette dernière établit les constats suivants :

- au-delà de 2020, les besoins financiers destinés à la régénération des équipements de signalisation seront très supérieurs à la trajectoire définie par le contrat de performance ;

[31] « Stratégie de modernisation de la signalisation, résultats de la phase 2 », octobre 2017.

- s'ajoutent à cela les besoins liés à la commande centralisée du réseau ;
- le maintien de la trajectoire actuelle du contrat de performance génèrera des impacts significatifs en matière de coûts d'entretien (MCO) et de performance opérationnelle ; il rendra également impossible la tenue des engagements européens en matière d'ERTMS.

Sur cette base-là, SNCF Réseau propose une stratégie de modernisation qui tient compte :

- des exigences liées au déploiement de l'ERTMS selon les engagements européens ;
- de l'optimisation de la performance de l'exploitation ;
- des besoins de renouvellement des installations de signalisation nécessaires à la maîtrise de leur obsolescence ;
- des capacités industrielles internes et externes à l'entreprise.

Le concept de renouvellement des équipements prévoit :

- l'éradication de technologies non pérennes à l'horizon 2039 ;
- le renouvellement des installations de campagne des postes d'anciennes technologies mais jugées pérennes à l'horizon 2040 ;
- l'éradication des postes électriques à relais S1, des couches informatiques de 1ère génération à l'horizon 2032 puis de la TVM à l'horizon 2040 ;
- l'éradication des anciennes technologies de block automatique lumineux S3 avant 2035.

La stratégie de modernisation propose 3 scénarios plus ou moins ambitieux :

Scénarios	Enjeu de la régénération	Enjeu lié à la CCR	Enjeu lié à l'ERTMS	Investissements moyens annuels sur 2022 - 2035[31] - M€
ERTMS	X	X	X	868
CCR	X	X		805
Régénération	X			755

Tableau 10 : Scénarios de modernisation de la signalisation préconisés par SNCF Réseau.

Quel que soit le scénario retenu, l'investissement moyen nécessaire sera significativement supérieur à celui défini par la trajectoire du contrat de performance.

Recommandation 5 :

Les auditeurs ne peuvent qu'adhérer aux scénarios les plus ambitieux en matière de signalisation. Ils estiment que 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. Ceci est particulièrement vrai en Île-de-France.

Les auditeurs soulignaient en 2005 déjà, l'absence de véritable politique de modernisation de la signalisation.

Ils considèrent cependant que, quel que soit le scénario qui sera retenu, la modernisation nécessite quatre actions complémentaires essentielles :

- améliorer la maintenabilité des installations de signalisation ;
- améliorer la fiabilité des technologies, en particulier celles des installations de campagne ;
- renforcer le recours à l'externalisation afin de faire face
- sécuriser, autant que faire se peut, la chaîne d'approvisionnement, en interrogeant notamment 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 l'approvisionnement à moyen et long terme.

Par ailleurs, la conjonction de budgets insuffisants et les impératifs du maintien en conditions opérationnelles, en toute sécurité, tend à favoriser l'émergence de solutions bigarrées, à l'image de ce que fut la modernisation dans le domaine de la voie, caractérisées par des cycles de vie fortement défavorable.

Ceci milite à la fois pour une stratégie de modernisation ambitieuse combinée à une hiérarchisation robuste des investissements (éviter le saupoudrage).

Comparaisons internationales

La plupart des gestionnaires d'infrastructures ferroviaires d'Europe de l'Ouest déploient ou ont déployé d'ambitieux programmes de modernisation de la conduite de l'exploitation de leur réseau.

À titre d'exemple, Infrabel (Belgique) et CFF – Infrastructure (Suisse) ont quasiment éradiqué les postes mécaniques et les postes électriques. Le trafic ferroviaire helvétique est géré depuis 4 centres ; la technologie installée permettrait de surcroît le passage à un centre de commande unique. DB Netz (Allemagne) exploite depuis de nombreuses années des centres télécommandant des zones géographiques très

vastes (le centre de Francfort est un exemple en la matière). RFI (Italie) régule l'ensemble du trafic grandes lignes depuis un seul centre situé à Rome.

Ces exemples montrent que, malgré son excellence industrielle en matière de systèmes 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.

Focus Île-de-France

Le réseau d'Île-de-France connaît les mêmes difficultés que celles rencontrées à l'échelle nationale.

SNCF Réseau déploie, sur le périmètre d'Ile-de-France, des centres de commandes uniques (CCU) dont on espère un saut de performance en matière d'exploitation. Ces centres regrouperont par ailleurs les fonctions propres à l'exploitant (les agents circulation, les régulateurs de trafic) et celles liées à la gestion de l'alimentation de traction électrique.

L'Île de France est particulièrement sensible à la vulnérabilité des zones (circuits de voie) et à l'empilement des technologies, source de fragilités et de complications pour le mainteneur.

À ce propos, la mise en œuvre de la nouvelle signalisation Nexteo sur le RER E interroge. En effet, selon les informations dont les auditeurs ont disposé, la couche CBTC[32] s'ajoute à celle du KVB, elle-même superposée à la couche historique crocodile et détonateurs. Ce sujet est également abordé ci-dessous.

AMELIORER LA MAINTENABILITE DES INSTALLATIONS DE SIGNALISATION

Les illustrations ci-dessous proposent une comparaison du nombre d'équipements de signalisation entre une gare de la ligne RER D (la gare de Stade de France) et une gare du RER de Tokyo.

Les principes techniques de signalisation traditionnelle de SNCF Réseau engendre un nombre important d'équipements en voie, comme le montre l'image de gauche, comprenant notamment des pédales d'annonce mécaniques dont le réglage en maintenance est délicat. À l'opposé, le système illustré à droite, ne comprend plus qu'un type de balise unique et un nombre limité d'équipements ; cet exemple aurait pu être photographié en Europe.

Cette complexité est peu favorable au mainteneur.

[32] CBTC : *Communication Based Train Control*.

Figure 18 : Complexité des équipements en terrain, comparaison entre une gare française et une gare japonaise.

COMPLETER LE PRINCIPE DU GAME PAR UNE APPROCHE SYSTEMIQUE D'ANALYSE DES RISQUES

Parmi les pratiques qu'il serait important de faire évoluer figure l'application des méthodes de MSC39 (principe du GAME – Globalement Au Moins Équivalent).

Le principe du GAME dit que la modification d'un système existant ou la conception et la réalisation d'un nouveau système doivent être exécutées de telle manière à ce que le niveau global de sécurité soit au moins équivalent au niveau de sécurité existant ou à celui de systèmes existants assurant des services ou des fonctions comparables ; le principe est ancré dans le cadre réglementaire national.

Le principe du GAME est pensé de telle manière à permettre l'innovation et l'amélioration continue des systèmes existants, tout en proposant un garde-fou contre certaines dérives typiques liées au progrès (« au toujours davantage »).

Cependant, l'efficacité du principe dépend de son application correcte, en particulier de la juste définition du périmètre d'analyse. Or, on constate que tel n'est pas systématiquement le cas au sein de SNCF Réseau : il arrive que les études de conception ou de modification des systèmes invalident des options techniques efficientes (améliorant le niveau de sécurité global) parce qu'elle n'intègrent pas les effets bénéfiques de ces options sur l'ensemble du système ou du périmètre

fonctionnel (une réduction du niveau de sécurité intrinsèque d'un sous-système peut être compensée par l'augmentation du niveau de sécurité d'un autre sous-système).

Ceci peut constituer un frein à l'innovation car les études invalident les solutions techniques intéressantes ou en exigent un niveau de sécurité intrinsèque tel que leur mise en œuvre devient prohibitive (les sous-systèmes tendent à devoir répondre systématiquement aux exigences de sécurité de niveau SIL 4).

UN MOT SUR L'ERTMS

SCNF Réseau travaille actuellement sur sa stratégie de migration vers l'ERTMS. Les auditeurs ne formulent aucun commentaire sur le sujet mais proposent quelques éléments de comparaisons internationales qu'ils estiment éclairants.

Comparaisons internationales : l'ERTMS en Europe

Plusieurs gestionnaires d'infrastructure ont déployé l'ERTMS sur une partie de leur réseau. De ces expériences, on en tire un certain nombre de constats :

- l'ERTMS est installée en premier lieu sur les infrastructures nouvelles, que ce soit lignes grande vitesse, corridors fret ou autres ;
- les réseaux suisses et belges, qui disposent d'un système de signalisation historique par transpondeurs ponctuels, organisent la migration vers ERTMS L1LS[33] en remplaçant ces transpondeurs par des balises compatibles ERTMS ;
- le bilan économique de l'installation de l'ERTMS à périmètre fonctionnel constant n'est guère favorable ; le déploiement de l'ERTMS est perçu comme une opération positive s'il s'insère dans un projet d'augmentation de la capacité ou de fluidification des circulations ;
- ainsi, les réseaux dotés de systèmes de signalisation continue à haute performance (TVM en France, LZB en Allemagne, ATB au Pays-Bas) ne profiteront guère de l'ERTMS, à moins que cette technologie ne puisse remplacer complètement une technologie existante devenue obsolète.
- les axes RTE-T sont aujourd'hui les seules infrastructures pour lesquelles le déploiement de l'ERTMS est sanctionné d'une échéance stricte.

[33] ERTMS *Level 1, Limited Supervision*.

En termes de déploiement :

- CFF - Infrastructure (Suisse) a déployé ERTMS L1LS sur la totalité de son réseau ; cette installation cohabite avec le système national de signalisation car tous les matériels moteurs ne sont pas équipés en ERTMS et il n'existe aucun plan de migration du parc complet. Parallèlement, quelques lignes sont équipées d'ERTMS L2 ; il s'agit des nouvelles lignes (notamment les nouveaux tunnels transalpins) mais également de quelques sections de lignes existantes sur lesquelles tout autre type de signalisation a été déposé. Dans ces cas, seuls les véhicules équipés d'ERTMS y sont autorisés.

- Selon les plans en cours, la Belgique et le Danemark seront les prochains réseaux à disposer d'un déploiement étendu de l'ERTMS, le premier en combinant les niveaux L1LS et L2, le second en niveau L2 uniquement.

- Mais en général, les réseaux suivent une stratégie prévoyant le double équipement des engins moteurs puis l'installation progressive de l'ERTMS en remplacement des systèmes anciens.

- La transition est cependant jugée problématique par l'ensemble des gestionnaires interrogés.

La figure ci-dessous illustre l'avancement du déploiement d'ERTMS sur les axes RTE-T par pays, à fin 2016.

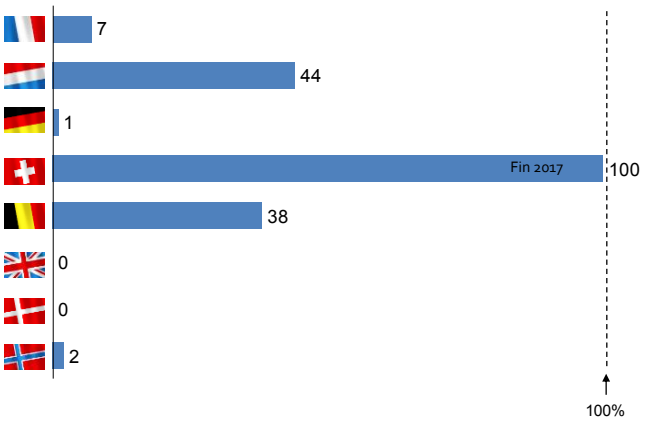


Figure 19 : État du déploiement de l'ERTMS RTE-T par pays, fin 2016 ; la figure donne le ratio entre part des lignes équipées d'ERMTS en fonctionnement et la part totale du corridor du réseau central RTE-T[34].

[34] Source : « Un système européen de gestion du trafic ferroviaire unique : ce choix politique se concrétisera-t-il un jour ? (Cour des comptes européenne, 2017) »

Il est légitime d'interroger le calendrier de déploiement d'ERTMS prévu sur les RTE-T et les capacités industrielles à disposition. Le graphique suivant illustre les volumes de travaux prévisionnels, selon la planification actuelle.

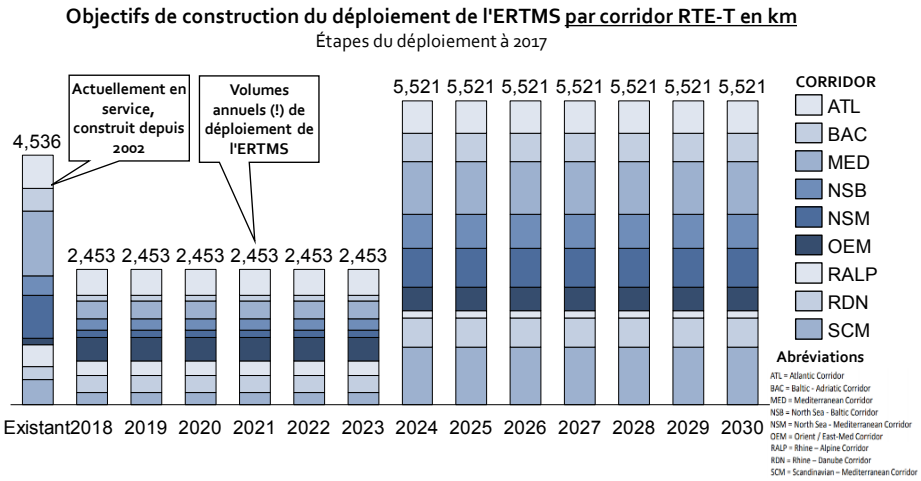


Figure 20 : Volumes prévisionnels de travaux de déploiement de l'ERTMS sur les corridors RTE-T.[35]

Environ 4'500 km d'ETCS ont été déployés en 15 ans, c'est – à – dire 300 km/an en moyenne. Le plan prévoit le déploiement dès 2018 de 2'500 km par an puis, à partir de 2024 de plus de 5'000 km/an.

Cette forte croissance engendrera une contrainte sur les capacités à faire, un glissement des projets ERTMS ainsi qu'une augmentation des coûts unitaires.

Enfin, sur le plan du financement, l'Union Européenne soutient les projets d'ERTMS sur les corridors RTE-T à hauteur de 50 % mais n'en couvre par les risques. L'analyse[34], à mi 2017, d'un panel de projets danois, allemands, espagnols, italiens et néerlandais montre que, sur la totalité des déploiements théoriquement financés, 31 % ont été terminés avec du retard ou livrés à un niveau fonctionnel réduit, 43 % sont toujours en cours et 26 % ont été abandonnés.

[35] Sources : EY et Ineco (2017).

5.7 LES EQUIPEMENTS DE TELECOMMUNICATION

5.7.1 REMARQUE PRELIMINAIRE

L'analyse des auditeurs repose sur un entretien avec un représentant de la Direction ERTMS & Telecom de l'ingénierie de SNCF Réseau ainsi que sur trois documents que cette direction a édité pour l'occasion.

Le premier document décrit, de manière macroscopique, la consistance du patrimoine ; le deuxième document évoque l'état du patrimoine et le dernier retrace les grands axes de la politique suivie depuis le début des années 2000.

Bien qu'aucune donnée relative au patrimoine n'ait été portée à la connaissance des auditeurs, les documents transmis permettent de construire une image satisfaisante du parc des équipements de télécommunication ainsi des enjeux patrimoniaux qui y sont associés. Les paragraphes suivants en reproduisent de larges extraits.

5.7.2 CONSISTANCE ET ETAT DES EQUIPEMENTS DE TELECOMMUNICATION

Le patrimoine des équipements de télécommunication comprend 6 familles d'actifs :

- les artères, les câbles cuivre et les fibres optiques (supports de transmission),
- le réseau de téléphonie ferroviaire,
- le réseau de transmission,
- les réseaux radios analogiques et numériques,
- les locaux techniques télécoms,
- les installations d'environnement.

Le parc des <u>supports de transmission</u> comprend :

- 33'000 km de d'artères cuivre mais qui n'est plus déployée depuis 2002 ;
- 21'000 km de fibres optiques déployées par au gré des plans fibres et autres, depuis 2002 ;
- 1'900 km de lignes aériennes (chiffres datant de 2012).

On constate, depuis 2002, le doublement du linéaire de fibres optiques ainsi qu'une diminution progressive de linéaire de lignes aériennes.

Le réseau de téléphonie ferroviaire comprend :

- les commutateurs téléphoniques de multiples technologies, dont le nombre est passé de 2229 à 2929 unités de 2002 à 2016 ;
- les enregistreurs numériques qui sont passés de 5 en 2010 à 98 en 2017 ;
- les pupitres GSM de gares, dont le nombre demeure relativement stable (256 en 2016) ;
- ainsi que les téléphones extérieurs dont on estime le nombre à 73'000 !

Les réseaux radios analogiques et numériques sont constitués des familles suivantes :

- RLE (Radio Locale d'Entreprise), de technologie numérique et comptant 23'000 terminaux déployés sur 300 sites ;
- ARES (*Service permettant d'émettre et recevoir un appel d'arrêt d'urgence de trains sur les lignes ferroviaires ne disposant pas de GSM-R*), de technologie numérique et comptant 7'500 terminaux ; les équipements couvrent 11'200 km de voies ;
- GSM-R, de technologie numérique équipant 15'000 km de voies ; le nombre de terminaux est inconnu *mais le nombre de terminaux commandés entre 2012 et 2016 est de 876* ;
- RST (Radio Sol Train) de technologie analogique, dont le déploiement s'est terminé en 2002 ; on estime le nombre de mâts à 2'500 ;
- INPT, de technologie numérique en supervision IP et qui comptait en 2016 225 installations.

Enfin, les réseaux de données sont constitués des familles suivantes :

- famille PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*), de technologie numérique et qui compte 5'500 équipements (2017) ;
- famille SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*), de technologie numérique et qui compte 950 équipements (2017) ;
- famille DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*), de technologie numérique à supervision IP ; on comptait 200 équipements en 2017 ;
- famille Infranet, de technologie IP, qui ne cesse de croître ; fin 2016, ce réseau comptait 90 équipements « cœur de réseau », 565 « points d'accès » et 1696 équipements « clients ».

- famille Infracom, de technologie IP ; *le déploiement du nouveau réseau INFRACOM a commencé en 2017 (actuellement 10 équipements sont déployés)*.

On constate que le volume du parc augmente régulièrement. Cette tendance est une conséquence directe de l'importance croissante du service qu'offrent les équipements de télécommunication en production ferroviaire, que l'on parle d'exploitation ou de maintenance du réseau.

Le document produit par la Direction ERTMS & Telecom qualifie le patrimoine des télécommunications de vieillissant et souligne le risque d'une croissance du nombre d'incidents si l'effort de modernisation engagé depuis 2010 ne devait pas être poursuivi.

Le phénomène de vieillissement (des artères, des câbles) s'accompagne de l'obsolescence de nombreux matériels tels que les équipements liés à la téléphonie ferroviaire dont certaines technologies datent de 1930. La présence de systèmes de communication obsolescents ralentit la modernisation de l'exploitation (conduite du trafic) et de la maintenance du réseau (télésurveillance).

5.7.3 POLITIQUES DE MAINTENANCE ET SUJETS INDUSTRIELS

Le document établi par la Direction ERTMS & Telecom retrace les grands moments de la politique de régénération des équipements de télécommunication au cours des 15 dernières années, politique dont on rappelle les grands axes :

- renouvellement artères de télécommunications, poursuite de l'éradication des lignes aériennes, déploiement de la fibre optique (programme Plan Fibre) ;
- modernisation de la radio, déploiement du GSM-R ;
- modernisation de la téléphonie ferroviaire ;
- déploiement du réseau de données, y-compris le sous-programme de cybersécurité ;
- etc.

La Direction ERTMS & Telecom a construit une politique industrielle, s'appuyant sur la segmentation stratégique du réseau et les principaux axes suivants :

- l'abandon des technologies propriétaires au profit des technologies de marché, là où cela est possible ;
- la construction d'un catalogue de services ;
- un réseau techniquement homogène.

L'orientation de la production technique vers la production de services mesurés et conformes aux engagements pris avec les métiers et les clients SNCF Mobilités et tiers.

Constat 6 :

Ces orientations stratégiques sont conformes aux tendances observées dans le monde de la télécommunication ferroviaire. Elles sont judicieuses.

La stratégie de la Direction repose sur le besoin lié à la transformation digitale de l'entreprise qui nécessite la constitution d'un service de télécommunication socle robuste et fiable.

Elle évoque, de manière non-exhaustive, les chantiers suivants :

- *« le remplacement du GSM-GFU,*
- *le désengagement de la radio sol-train analogique (RST-A),*
- *l'évolution de GSM-R vers IP,*
- *la complétude de la modernisation des commutateurs de téléphonie ferroviaires,*
- *la modernisation des postes de téléphonie extérieure (PTE),*
- *le désengagement progressif des artères cuivre,*
- *l'intégration de l'IOT (Internet of Things) »*

Recommandation 6 :

La transformation digitale de l'entreprise repose en partie, comme évoqué plus haut, sur le recours accru aux technologies du marché. Ceci implique une culture d'acheteur différente de celle que l'on rencontre souvent aujourd'hui : les cahiers des charges doivent décrire la fonction que l'on souhaite obtenir et s'écarter des prescriptions techniques (le comment).

L'exercice est compliqué lorsque le rédacteur des spécifications fonctionnelles est éloigné du terrain ou lorsqu'il ne dispose pas d'interlocuteurs en terrain dotés des connaissances nécessaires et du pouvoir de prescription.

Les auditeurs recommandent de renforcer les relations entre l'ingénierie des télécommunications et la nouvelle ingénierie d'exploitation que la réforme de l'entreprise devrait instituer.

6 ÉVALUATION DES BESOINS DE RENOUVELLEMENT A LONG TERME DES INFRASTRUCTURES DES GROUPES UIC 2 A 6.

6.1 OBJECTIF ET METHODE D'EVALUATION

L'évaluation des besoins de renouvellement à long terme vise à vérifier la cohérence entre les trajectoires budgétaires du contrat de performance et les besoins de renouvellement des infrastructures tels que les auditeurs les estiment.

Les auditeurs ont utilisé deux méthodes d'évaluation, en fonction des familles d'actifs et de la disponibilité des données :

- l'évaluation par simulation[36] des besoins physiques de renouvellement, actif par actif[37], selon des politiques prédéfinies et des coûts unitaires donnés ; cette méthode est utilisée pour les domaines de la voie, des appareils de voie, des installations fixes de traction électrique et la signalisation ; le renouvellement de ces familles d'actifs absorbe 80 % des montants du contrat de performance ;

- l'évaluation par analyses économiques simplifiées, sur la base de la valeur estimée du parc d'actifs ou par d'autres approches similaires ; cette méthode a été utilisée pour les ouvrages d'art, dont la régénération consomme 8 % des montants du contrat de performance.

Ainsi, 88 % des montants de la trajectoire définie par le contrat de performance ont fait l'objet d'une évaluation *ad hoc*.

Les besoins financiers relatifs à la régénération des ouvrages en terre, des équipements de télécommunication ont été tirés directement des trajectoires du contrat de performance, faute de méthodes d'évaluation adéquates mobilisables à court terme.

Enfin, rappelons que les évaluations ne portent que sur les infrastructures des lignes des groupes UIC 2 à 6 (y-compris les LGV).

[36] Les simulations ont été réalisées à l'aide de la plateforme *d'asset management* Eqylibr® Scenario® d'IMDM.

[37] Environ 230'000 actifs ont été importés dans la plateforme de calcul.

6.2 DEUX SCENARIOS

Les auditeurs ont évalué deux scénarios :

- le scénario « contraint » a consisté à appliquer la contrainte définie par la trajectoire du contrat de performance sur la période 2017 – 2026, selon le scénario avec productivité (*cf.* le commentaire à ce propos, ci-dessous), puis d'évaluer les besoins sans contrainte au-delà, en lissant les volumes par périodes de 5 ans ;

- le scénario « théorique » non contraint qui a pour objectif de mesurer l'écart entre la dynamique naturelle du parc (les besoins sans contrainte aucune) et la trajectoire actuelle.

Les investissements ont été hiérarchisés en commençant par les lignes à grande vitesse, puis en continuant par le réseau d'Île-de-France, les voies des groupes UIC 2 à 4, puis 5 à 6.

Les simulations ont (partiellement) tenu compte des capacités industrielles, ce qui atténue les effets de la hiérarchisation, en particulier entre les lignes à grande vitesse, le réseau d'Île-de-France et les lignes des groupes UIC 2 à 4.

Les hypothèses de simulation ont été construites en collaboration avec SNCF Réseau ; les durées de vie ont été proposées par les auditeurs puis discutées ; les coûts unitaires viennent directement de SNCF Réseau.

Les évaluations ne tiennent pas compte de la mise en œuvre d'une éventuelle amélioration de l'efficience du renouvellement (scénario de productivité du contrat de performance). Bien que ce sujet fasse l'objet d'interventions régulières dans le document, les auditeurs n'ont pas réalisé d'estimations économiques des leviers susceptibles d'être mobilisés.

Les auditeurs expliquent cette posture conservatrice par le fait que les risques n'ont pas été monétisés (mise en application de la loi Didier, évolution défavorable des coûts liés à l'ERTMS, l'interdiction prévisible du Glyphosate, etc.). En outre, les hypothèses industrielles sur lesquelles se base le scénario de productivité du contrat de performance ne sont pas suffisamment documentées et donc, elles-mêmes, sources de risques.

Les résultats des évaluations n'ont pas valeur de schémas directeurs de renouvellement ; ils tiennent compte de certaines contraintes industrielles mais ne se préoccupent pas du lissage de la charge de travail par anticipation. Par conséquent, les résultats doivent être considérés comme des ordres de grandeur ; toute comparaison avec les estimations détaillées produites par SNCF Réseau doit être réalisée avec précaution.

6.3 RESULTAT GLOBAL

6.3.1 TRAJECTOIRES PASSES

À titre indicatif, la figure suivante rappelle les trajectoires passées, par domaine, exprimée aux conditions économiques de 2017.

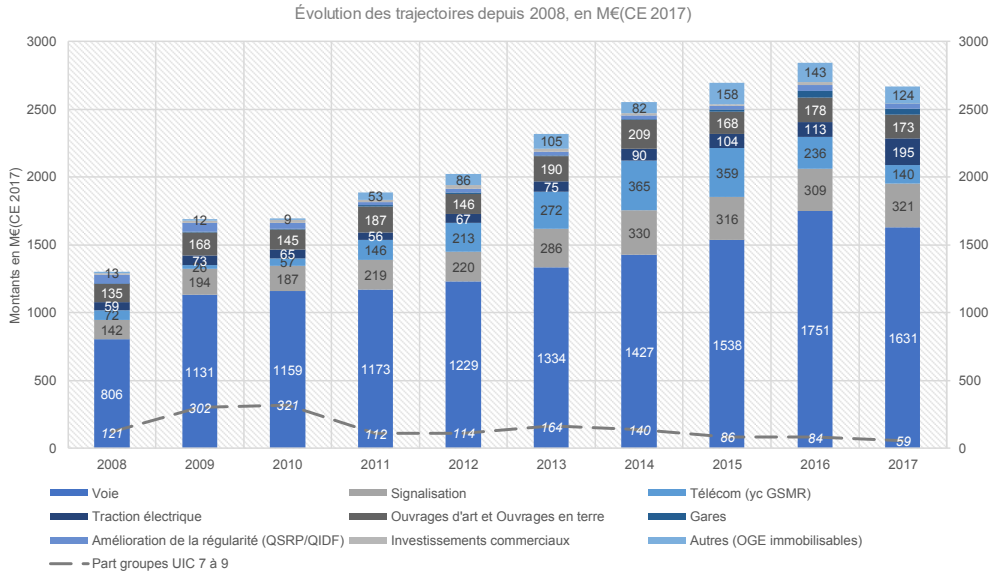


Figure 21 : Trajectoires passées, en M€ constants (CE 2017)[38].

La figure met également en évidence l'évolution des montants consacrés aux infrastructures des lignes des groupes UIC 7 à 9.

6.3.2 ESTIMATION DES BESOINS ET TRAJECTOIRE

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.

Selon les estimations des auditeurs, l'écart de 520 M€/an est composé de 130 M€/an pour les ouvrages d'art, 110 M€/an pour la voie et les appareils de voie, 160 M€/an pour les installations fixes de traction électrique et 120 M€/an pour la signalisation.

Notons que la trajectoire budgétaire du contrat de performance affichée dans le graphique ci-dessus ne couvre que le périmètre de simulation ; les investissements

[38] Les chiffres ont été fournis par SNCF Réseau ; la version date du 18 février 2018.

relatifs aux gares, à l'amélioration de la régularité, aux OGE immobilisables ainsi que les investissements commerciaux ont été retirés de la trajectoire.

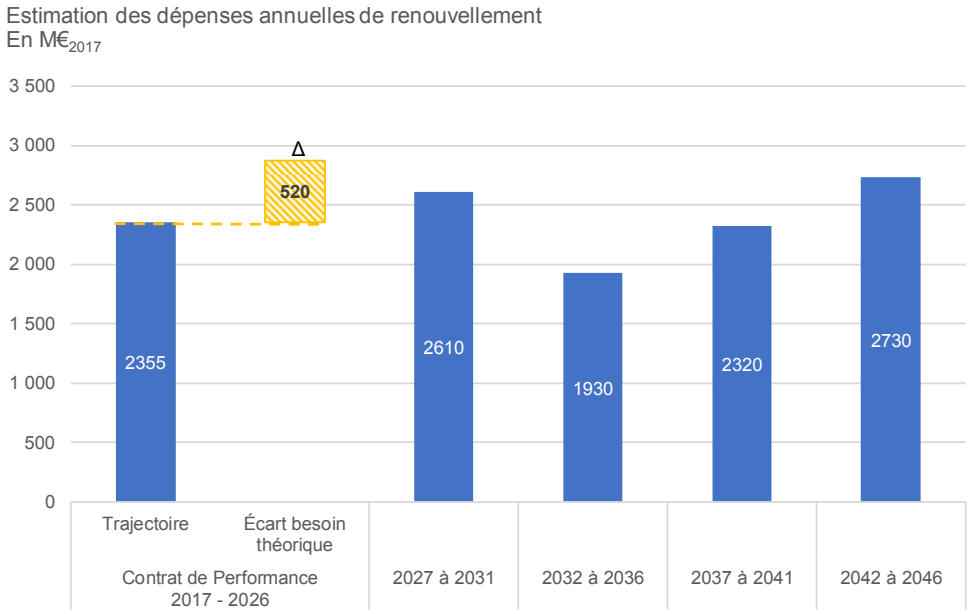


Figure 22 : Besoins estimés de renouvellement selon les 2 scénarios et trajectoire budgétaire, en M€ (CE 2017) ; seules les infrastructures des groupes UIC 2 à 6 sont prises en compte.

Toutes choses égales par ailleurs (amélioration de productivité, ajustement du périmètre du réseau, etc.), les trajectoires budgétaires devraient avoisiner 2,8 G€/an en moyenne et aux conditions économiques 2017, sur les 15 prochaines années. En ajoutant 200 M€/an destinés aux postes de dépenses « autres » (gares, amélioration de la régularité, etc.), la trajectoire devrait avoisiner les 3 G€/an. Exprimée en valeur courante[39], la trajectoire pourrait s'élever ainsi à 3,8 G€/an en 2030, 3,1 G€/an en 2035 et 4,7 G€/an en 2040 (taux d'actualisation de 2 %/an).

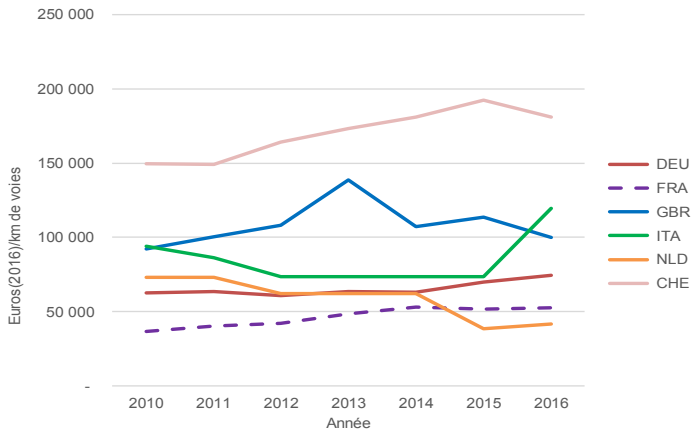
Comparaisons internationales : les budgets de renouvellement sont inférieurs.

En comparaison internationale et rapporté au linéaire de voies, la France investissait moins que les autres réseaux en maintien de la substance mais la situation s'améliore de manière significative. Le constat est moins sévère si l'on ôte les lignes des groupes UIC 7 à 9 (qui ont pourtant bénéficié d'une partie de l'effort d'investissement) – on approche les 85 k€/km de voie en 2016.

Cependant, rappelons que le patrimoine du réseau ferré national sort d'une période de 30 ans de sous-investissement important ; malgré le retard à rattraper, les

[39] En faisant l'hypothèse d'un taux de 2,5 %/an.

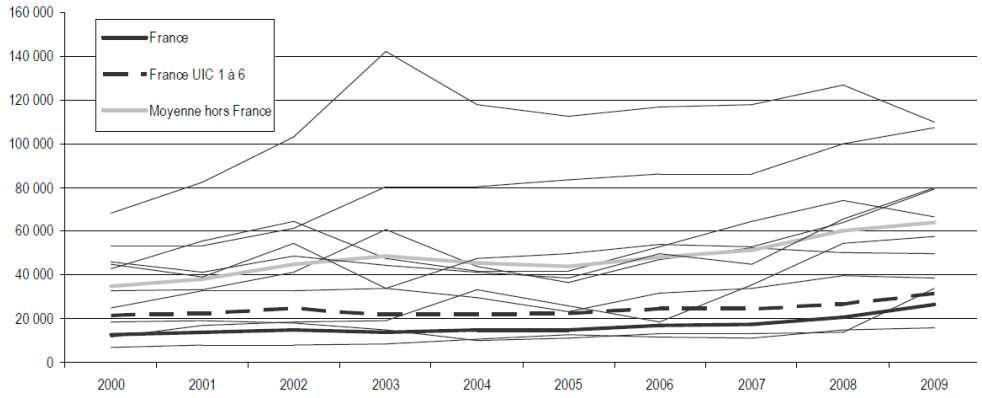
niveaux budgétaires actuels se situent dans la fourchette médiane du panel de réseaux comparés (sans les voies des groupes UIC 7 à 9).



Niveaux budgétaires par kilomètre de voies, avec le patrimoine des lignes UIC 7 à 9.

Notons que les Pays-Bas investissent d'avantage qu'il n'y paraît dans le maintien de la substance ; en effet, une quantité importante de renouvellements de voie est intégrée aux projets d'augmentation de capacité, tels que quadruplements de voies et simplification des gares. Ces montants « disparaissent » de la courbe présentée ci-dessus.

Remarquons également l'exception suisse, dont la densité de circulation est élevée et la politique de maintenance est fortement axée sur le renouvellement.



Niveaux budgétaires par kilomètre de voies, source LICB[40].

La comparaison internationale corrobore ainsi les estimations des auditeurs.

[40] *Lasting Infrastructure Cost Benchmarking* de l'UIC.

6.4 OUVRAGES D'ART

6.4.1 INTRODUCTION

Les auditeurs ont utilisé plusieurs méthodes afin d'évaluer la cohérence des trajectoires budgétaires courantes avec les besoins destinés au maintien ou au rattrapage de la substance du parc d'ouvrages d'art.

6.4.2 ESTIMATION DES BESOINS PAR L'AUDIT EPFL DE 2005

Les auteurs de l'audit EPFL de 2005 avaient utilisé une approche détaillée afin d'estimer les besoins d'entretien et de renouvellement[41] des ouvrages d'art. Les résultats sont détaillés ci-dessous (scénario optimisé, recommandé par les auditeurs) :

M€ (2017)	Initial	2006-2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	Moyenne
UIC 2 à 4	107	181	249	225	126	195
UIC 5 et 6	45	48	42	75	105	68
UIC 7 à 9	33	72	80	106	172	108

Tableau 11 : Estimations des besoins annuels moyens de maintenance (entretien et renouvellement) des ouvrages d'art, selon l'audit EPFL de 2005, scénario optimisé.

Les auditeurs prévoyaient un montant annuel moyen de 371 M€/an pour le renouvellement et l'entretien du parc d'ouvrages, sur 20 ans. En restreignant l'analyse aux ouvrages situés sur les groupes UIC 2 à 6, on observe que :

- les montants moyens s'élèvent à 263 M€/an,
- le scénario de 2005 prévoyait un effort de rattrapage de substance entre 2011 et 2020, de l'ordre de 300 M€/an,
- les trajectoires budgétaires d'investissement constatées entre 2005 et 2015 s'élèvent à 96 M€/an, aux conditions économiques de 2017 ; les montants moyens alloués à l'entretien des ouvrages entre 2009 et 2015 s'élèvent à 37 M€/an, aux conditions économiques de 2017 ; l'effort financier global alloué aux ouvrages d'art des groupes UIC 2 à 6 se situe ainsi aux alentours de 133 M€/an.

[41] Dans le domaine des ouvrages d'art, la distinction entre entretien et renouvellement n'est pas robuste ; par conséquent, la suite de l'analyse se base sur la somme de l'entretien et du renouvellement.

Constat 7 :

Les trajectoires budgétaires passées s'avèrent ainsi sensiblement inférieures aux besoins exprimés par les auditeurs, en 2005.

L'analyse montre que la trajectoire actuelle n'est pas suffisante mais également qu'un effort de rattrapage sera nécessaire au cours des deux prochaines décennies (*cf.* la méthode par les risques, ci-dessous).

Complétons l'analyse par deux autres approches complémentaires.

6.4.3 ESTIMATION DES BESOINS PAR RAPPORT A LA VALEUR DU PARC

La méthode consiste à évaluer la valeur à neuf du parc puis à estimer le besoin annuel en matière d'entretien et de régénération des actifs par le biais d'un coefficient. C'est la méthode utilisée notamment par le rapport de la Commission Européenne COST 345[42]. Les auteurs de l'audit EPFL de 2005 s'en étaient accessoirement servi et leurs résultats figurent ci-dessous (les montants ont été actualisés aux conditions économiques de 2017).

	Ponts		Tunnels		Murs de soutènement		Petits ouvrages[43]		
	Superf. 10^3 m²	*Valeur M€*	*Long. 10^3 m*	*Valeur M€*	*Superf. 10^3 m²*	*Valeur M€*	*Nmbre 10^3*	*Valeur M€*	
UIC 2 à 4	5216	12298	218	5089	2546	1051	8.9	824	
UIC 5 et 6	1327	3130	110	2583	1033	426	5.4	500	
UIC 7 à 9	1702	4013	290	6777	2631	1086	15.4	1424	
Taux « COST 345 »		*1.25%*		*1.40%*		*1%*		*1.25%*	**Σ**
UIC 2 à 4		154		71		11		10	**246**
UIC 5 et 6		39		36		4		6	**85**
UIC 7 à 9		50		95		11		18	**174**

Tableau 12 : Évaluation des besoins financiers des ouvrages d'art selon la méthode de la valeur du parc ; les valeurs sont aux conditions économiques 2017[44] ; (source : audit EPFL de 2005).

[42] COST 345 : « *Procedures Requiered for Assessing Highway Structures* » : *Working group* 1, Commission Européenne, Bruxelles, 2004.

[43] Les petits ouvrages non associés à un groupe UIC ne sont pas intégrés dans le calcul (le rapport EPFL parle d'environ 25'000 ouvrages).

[44] Les résultats datant de 2004 ont été traduits aux conditions économiques actuelles par un facteur de 1.31 (combinaison de TP01 – 80 % et IPC – 20 %).

L'application de la méthode aboutit à des budgets annuels moyen de l'ordre de 500 M€/an pour l'ensemble du parc des ouvrages d'art et de **330 M€/an** pour les ouvrages d'art situés sur les lignes des groupes UIC 2 à 6.

Notons que les coûts unitaires nécessaires au calcul des valeurs à neuf ainsi que les coefficients de calcul des dépenses moyennes annuelles sont issus du milieu routier :

- les valeurs à neuf sont plutôt optimistes car elles correspondent, selon la définition retenue, au coût de construction, aujourd'hui, du même ouvrage en site vierge, en appliquant les règles actuelles de l'art ; la reconstruction des équipements ferroviaires ainsi que les conditions d'intervention sur ouvrages existants, en trafic, ne sont pas prises en compte ; les coûts unitaires moyens sont de l'ordre de 2.5 à 3 k€/m2 de ponts, ce que nous considérons optimiste ;

- à l'inverse, les ouvrages routiers se dégradent plus rapidement que les ouvrages ferroviaires, les coefficients de calcul des dépenses annuelles sont sans doute pessimistes ; ce caractère pessimiste est cependant compensé à court et moyen terme par le besoin de rattrapage dont souffrent les ouvrages métalliques et les ouvrages en maçonnerie.

La suite du raisonnement s'accommode de ces approximations du fait que la méthode, de par sa nature, n'est destinée qu'à fournir des ordres de grandeur.

6.4.4 METHODES PAR LES RISQUES

La première méthode consiste à évaluer les besoins financiers annuels destinés à traiter les ouvrages d'art jugés sensibles et très sensibles, c'est-à-dire dont la cote d'état est supérieure ou égale à N4 et la cote de gravité supérieure ou égale à G4 (*cf.* § 5.2.1, page 35).

Hypothèses de coûts unitaires – k€/m^2	Ouvrages de note N4 - G4 -> renforcement du tablier et des culées.		Ouvrages de note supérieure à N4 – G4 -> remplacement du tablier, traitement des culées.	
Type de construction :	Ponts rails	Ponts routes	Ponts rails	Ponts routes
Maçonnerie	10	5	15	10
Métallique	10	5	18	10
Béton	10	5	18	10
Mixte	10	5	18	10

Tableau 13 : Hypothèses de coûts unitaires de traitement des ponts.

Les ouvrages cotés N4 – G4 font l'objet d'un renforcement ; les ouvrages plus critiques d'une régénération. Les hypothèses de coûts unitaires varient entre types d'opérations et types d'ouvrages, tel que le décrit le tableau suivant.

La combinaison des surfaces d'ouvrages sensibles, selon leur nature (ponts rails ou ponts routes), selon leur cotation et selon le type de construction conduit aux résultats exprimés ci-dessous

Montants en M€ (CE 2017)	Ouvrages de note N4 - G4 -> renforcement du tablier et des culées.			Ouvrages de note supérieure à N4 – G4 -> remplacement du tablier, traitement des culées.		
Groupes UIC	Rattrapage brut	Période de rattrapage (années)	Montants annuels moyens arrondis	Rattrapage brut	Période de rattrapage (années)	Montants annuels moyens arrondis
UIC 2 à 4	228'000	20	11'400	4'073'000	25	203'650
UIC 5 et 6	149'500	20	7'480	964'000	25	48'200
UIC 7 à 9	252'500	20	12'630	1'552'000	25	77'600
N.D.	59'000	20	2'950	164'000	25	8'200
Montants annuels moyens sur 20 ans			34'460			337'650

Tableau 14 : Évaluation des besoins financiers liés au rattrapage de substance des ponts, selon la méthode « risques ».

Par cette méthode, on obtient un besoin de rattrapage sur une période de 20 ans de l'ordre de 370 M€/an ; ce montant se réduit à 270 M€/an si on ne considère uniquement les ponts des groupes UIC 2 à 6.

Notons cependant que :

- bien évidemment les montants varient fortement en fonction de la période de rattrapage choisie :
    - vingt ans paraissent raisonnables afin d'agir avant que les ponts « N4 – G4 » ne transitent vers un état moins favorable, nécessitant des actions plus lourdes, plus chères ;
    - vingt-cinq ans sont appropriés au vu de la gravité des notations des ouvrages concernés ;
- ce sont des montants planchers car devraient s'y ajouter les moyens nécessaires à réaliser les opérations préventives sur le parc d'ouvrages jugés aujourd'hui en état moyen.

Aux montants destinés aux ponts, s'ajoutent les moyens nécessaires aux tunnels ainsi qu'aux petits ouvrages d'art ; en prenant comme hypothèse le contenu des banques travaux nationale et francilienne, moyenné sur la période 2017 – 2025, on

obtient environ 90 M€/an destinés aux tunnels ainsi que 19 M€/an aux petits ouvrages.

Les montants annuels moyens s'élèveraient ainsi à environ 380 M€/an.

6.4.5 COMPARAISON DES MONTANTS

Sur la base des estimations effectuées ci-dessus, les auditeurs évaluent les montants nécessaires au maintien de la substance du parc d'ouvrages d'art à environ 300 à 350 M€/an en moyenne, entretien et renouvellement compris. Les montants actuellement consacrés à l'entretien des ouvrages d'art s'élèvent à 37 M€/an[45] en moyenne. Ce montant doit être soustrait ; on obtient ainsi une fourchette située entre 240 et 310 M€/an ; nous retiendrons 270 M€/an.

La trajectoire actuelle, s'établit à 185 M€/an en moyenne sur le contrat de performance, somme de laquelle il faut retrancher environ 45 M€/an destinés aux ouvrages en terre ; la trajectoire propre aux ouvrages d'art s'élève ainsi à 140 M€/an.

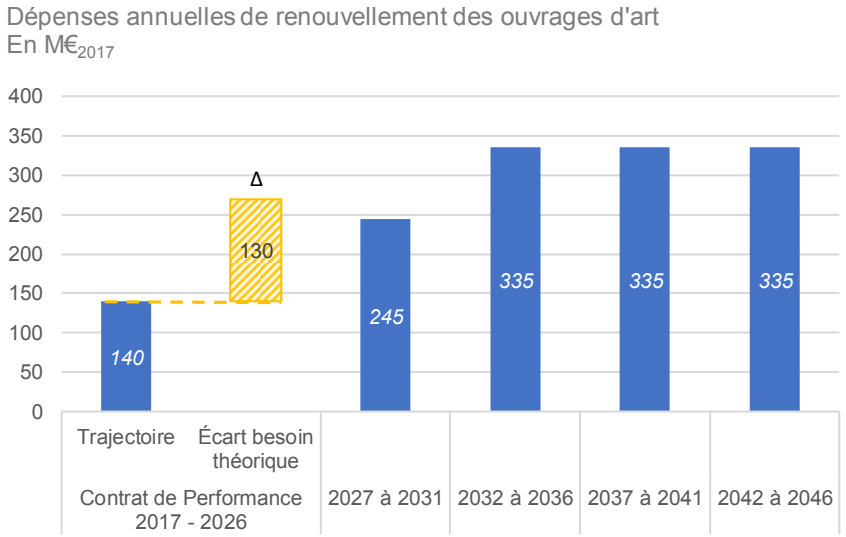


Figure 23 : Estimation des besoins de renouvellement des ouvrages d'art des lignes des groupes UIC 2 à 6, y-compris les LGV.

Selon ces estimations, la pérennisation des ouvrages d'art des groupes UIC 2 à 6, y-compris les LGV, nécessiterait un effort annuel supplémentaire d'environ 130 M€/an sur la période du contrat de performance.

[45] Cette valeur est calculée sur la base de la comptabilité analytique de SNCF Réseau, entre 2009 et 2015 ; les montants ont été actualisés aux conditions économiques de 2017.

L'estimation des besoins relatifs après le contrat de performance tient compte du rattrapage sur 20 ans de l'écart de 130 M€/an entre le besoin théorique de 270 M€/an et la trajectoire ; ceci donne des montants annuels de 335 M€/an, avec une montée progressive de l'effort financier entre 2027 et 2031, de 140 à 335 M€/an.

Constat 8 :

Les capacités à faire, disponibles aujourd'hui, ne parviennent qu'avec difficulté à absorber les budgets proposés par la trajectoire. Une augmentation des budgets de renouvellement des ouvrages d'art impliquerait une refonte de l'organisation industrielle en la matière.

Les auditeurs attirent à nouveau l'attention sur les conséquences financières possibles de la loi Didier qui prévoit un transfert des ouvrages de franchissement des communes à faible potentiel fiscal vers SNCF Réseau ; selon les estimations internes, l'intégration de ce parc engendrerait des coûts supplémentaires de 100 M€/an.

6.5 OUVRAGES EN TERRE

6.5.1 INTRODUCTION

L'estimation des besoins de régénération des ouvrages en terre est un exercice rendu complexe par la nature des facteurs impactant la durée de vie résiduelle des ouvrages (hydrogéologie et changements climatiques en particulier) ainsi que l'hétérogénéité des environnements dans lesquels ils se trouvent.

6.5.2 ESTIMATION RETENUE

Dans le cadre de l'audit EPFL de 2005, les experts avaient construit un modèle sophistiqué, combinant cartes topographiques et hydrogéologiques ainsi que localisation des emprises ferroviaires pour construire des prévisions de dépenses d'entretien et de renouvellement, dont les résultats figurent ci-dessous.

En M€ (2017)[46]	UIC 2 à 4	UIC 5 et 6	UIC 7 à 9
OT	42	30	36

Tableau 15 : Estimations des besoins annuels moyens (entretien et renouvellement), sur 20 ans, de l'audit EPFL de 2005.

[46] Les résultats datant de 2004 ont été traduits aux conditions économiques actuelles par un facteur de 1.31 (combinaison de TP01 – 80 % et IPC – 20 %).

À l'instar des ouvrages d'art, la distinction entre renouvellement et entretien n'est pas précise. Notons également que les chiffres ci-dessus ne couvrent pas l'entretien des abords et de la sous-structure de la voie.

Les données de programmes de SNCF Réseau prévoient environ 47 M€/an en moyenne sur la période 2017 – 2021. Les auditeurs corroborent cet ordre de grandeur et choisissent de retenir un montant de 50 M€/an.

6.6 VOIES ET APPAREILS DE VOIE

6.6.1 TRAJECTOIRES FINANCIERES PASSEES

Après une longue période de sous-investissement qui a débuté dans les années 1970, les montants alloués au renouvellement de la voie ont crû de façon substantielle au cours des 10 dernières années.

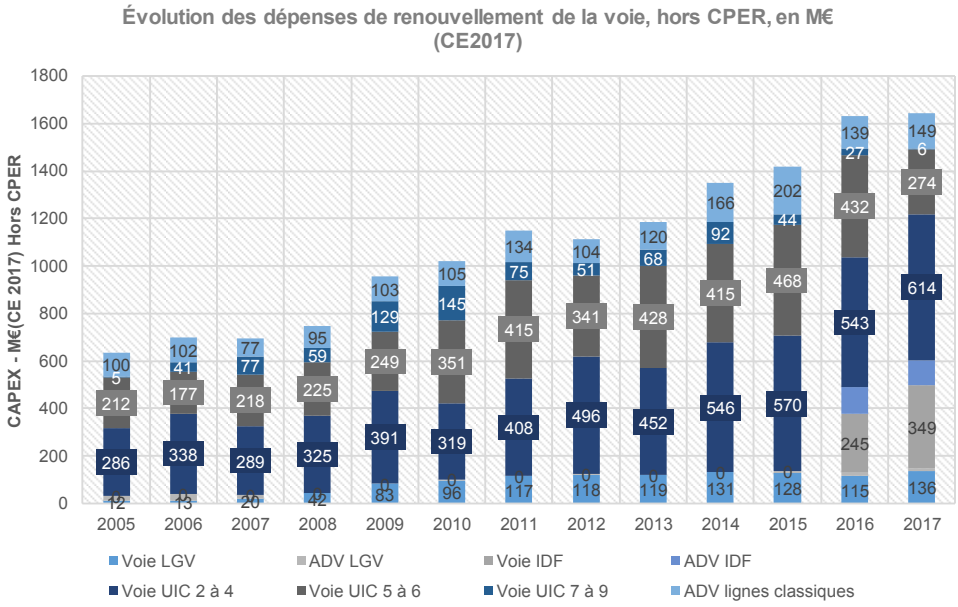


Figure 24 : Évolution des dépenses consacrées au renouvellement de la voie[47].

Les montants ont quasiment triplé depuis 2005 ; la tendance est bonne et, bien que la montée en puissance fût moins rapide qu'espérée, elle coïncide aux recommandations formulées par les auditeurs en 2005 et 2011.

[47] Source : fichier de programme de SNCF Réseau.

6.6.2 ÉVALUATION DES TRAJECTOIRES FUTURES

HYPOTHESES

Les besoins ont été évalués à l'aide de la plateforme de simulations dans laquelle ont été importés les 150'000 actifs provenant du réseau discrétisé.

Le modèle de la voie se compose :

- d'un type d'actif « voie », dont l'âge est celui du plancher (des traverses) car on ne connaît pas suffisamment bien l'âge du ballast ; l'âge du plancher constitue par ailleurs un critère clé de la politique de renouvellement ;
- d'un type d'actif « rails », subordonné à l'actif rail mentionné ci-dessus ;
- de lois opérationnelles[48] représentant le relevage et le renouvellement du ballast.

Les durées de vie s'inspirent du guide de l'émergence du renouvellement de la voie de SNCF Réseau (national et Île-de-France) ainsi que des hypothèses utilisées en interne.

Les auditeurs estiment ces hypothèses raisonnables car :

- bien que les durées de vie de la voie soient plus élevées qu'en Suisse notamment, elles sont associées à une politique de maintenance (entretien et renouvellement) ad hoc ;
- les durées de vie des rails sont proches de ce que l'on constate sur d'autres réseaux ; la stratégie rail préconisée en Île-de-France (renouvellement anticipé des rails en zones sensibles) correspond aux bonnes pratiques en la matière.

Les coûts unitaires de renouvellement proviennent d'estimations datant de mi-2017 et fournies par SNCF Réseau

Les simulations ont porté sur les voies et appareils de voies principales de lignes des groupes UIC 2 à 6 ainsi que les LGV ; les besoins relatifs aux voies et appareils de voie principales « autres » (voies de gares, etc.) ont fait l'objet d'une évaluation simplifiée ; enfin, les auditeurs ont reconduit les montants destinés aux voies et appareils de voie de service.

[48] La plateforme de simulation permet de définir des actions qui interviennent durant le cycle de vie d'un actif ; ces actions peuvent relever aussi bien de l'investissement que de l'entretien.

ESTIMATIONS DES BESOINS RELATIFS AUX VOIES ET APPAREIL DE VOIES PRINCIPALES DE LIGNE

Le graphique illustre les résultats, contraint jusqu'en 2026 selon la trajectoire définie par le contrat de performance, puis lissé sans contrainte jusqu'en 2046. La répartition entre lignes à grande vitesse, Île-de-France, groupes UIC 2 à 4 et UIC 5 et 6 respecte dans une certaine mesure les capacités à faire. Le graphique comprend les montants destinés aux voies et appareils de voies autres (estimés à 41 M€/an, *cf.* la fin du paragraphe).

La figure met en évidence l'écart d'environ 110 M€/an entre les besoins théoriques simulés et la trajectoire du contrat de performance.

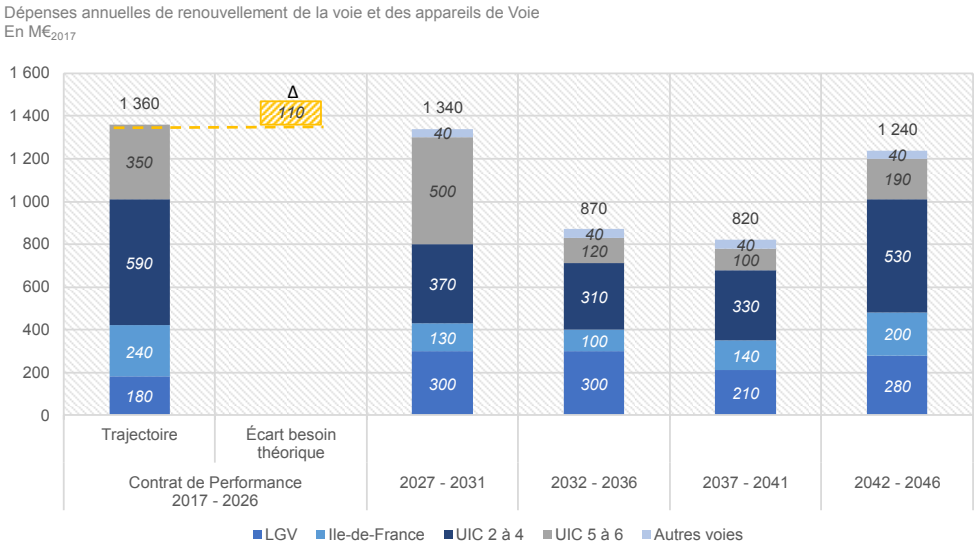


Figure 25 : Volumes financiers nécessaires au renouvellement de la voie et des appareils de voie.

L'écart constaté se reporte sur la période 2027 – 2031 ; il contribuera à alimenter les besoins d'entretien correctif. Par la suite, les niveaux budgétaires devraient se tasser à 850 M€/an environ jusqu'au début des années 2040. Notons la montée en puissance des besoins de renouvellement des lignes à grande vitesse (les voie de la LN1 atteindront alors 60 ans). Les volumes de renouvellement globaux devraient à nouveau croître dès le début des années 2040.

Selon les résultats des simulations, à la fin du contrat de performance il subsistera environ 4 % du parc « hors d'âge », part essentiellement constituée d'actifs situés sur les voies des groupes UIC 5 et 6 (*cf.* la figure suivante). Il convient cependant de considérer ces résultats avec réserve : la simulation renouvelle systématiquement les équipements les plus vieux alors qu'en réalité l'homogénéisation de sections de voies ainsi que la massification des chantiers entraînent le renouvellement anticipé d'un certain linéaire. Les résultats des simulations sont ainsi quelque peu optimistes.

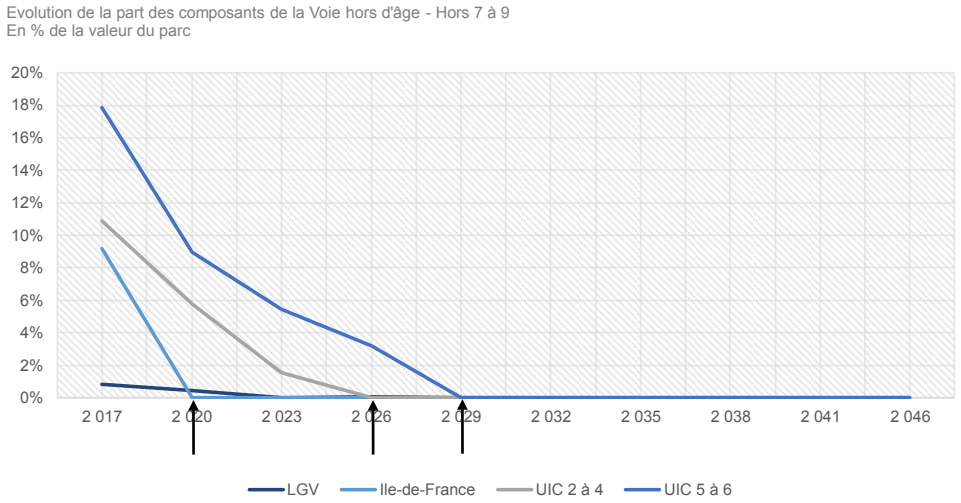


Figure 26 : Évolution de la part de voies et d'appareils de voie « hors d'âge ».

Constat 9 :

Ainsi, dès 2025 – 2030 et après plus de 15 à 20 ans d'effort, les montants de la trajectoire permettent de venir progressivement à bout du retard de renouvellement des voies et appareils de voie des groupes UIC 2 à 4. Les sommes supplémentaires à injecter dans la régénération sont le fait, selon l'estimation des auditeurs, des infrastructures situées sur les lignes des groupes UIC 5 et 6 (pour autant que l'on admette cette hiérarchie quelque peu simpliste utilisée dans l'affectation budgétaire).

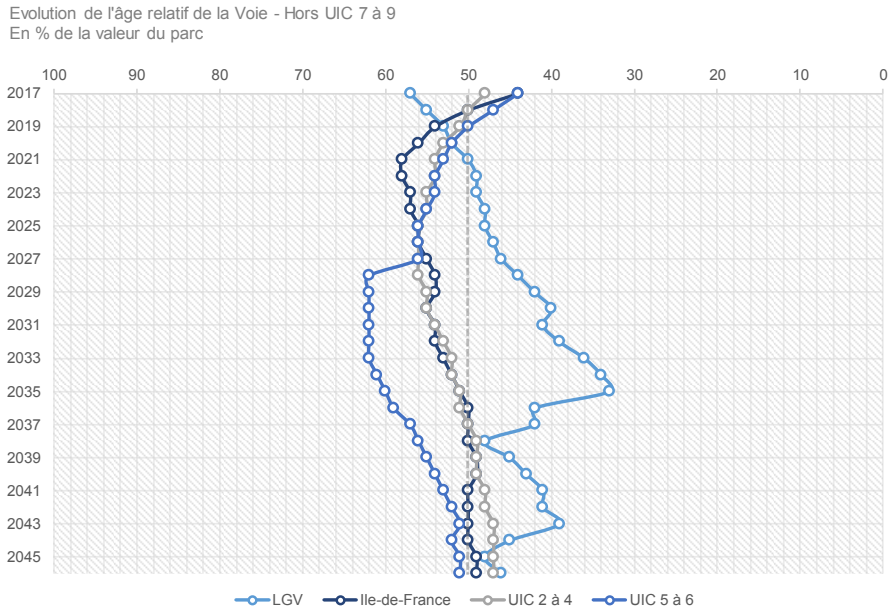


Figure 27 : Évolution de l'ICV[49].

Enfin, le graphique ci-dessus illustre l'évolution de l'ICV (directement dérivé de l'âge moyen relatif des actifs)[49]. On constate l'effet de rattrapage, puis la stabilisation des politiques au-delà de 2025 à 2030.

La discontinuité constatée sur les groupes UIC 5 à 6 en 2027 coïncide avec la fin de la contrainte budgétaire imposée par le simulateur. La forme chaotique de l'indice des lignes à grande vitesse est caractéristique des systèmes d'actifs d'âges homogènes ; l'effet est accentué par le simulateur qui travaille, ici, sans contrainte.

ESTIMATIONS DES BESOINS RELATIFS AUX VOIES ET APPAREIL DE VOIES PRINCIPALES AUTRES

Les besoins relatifs aux voies et aux appareils de voies principales autres (faisceau, voies de gares et raccordements) ont été estimés de manière simplifiée, selon le tableau suivant.

	Voies	Appareils de voie
UIC 2 à 6 - IDF	315 km	1440 u
UIC 2 à 6 - national	898 km	2873 u
Somme	**1213 km**	**4313 u**
Durées de vie	60 ans	50 ans
Volumes annuels moyens	env. 20 km	env.85
Coût unitaire moyen	1000 k€/km	250 k€/u
Montants annuels	~20 M€	~21 M€
Somme	41 M€/an	

Tableau 16 : Principe d'évaluation des besoins de renouvellement des voies et des appareils de voies principales « autres ».

On estime le besoin à 41 M€/an (CE 2017).

LE SUJET DES VOIES DE SERVICE

Les auditeurs n'ont pas produit d'estimation portant sur le maintien patrimonial des voies de service. Ces dernières ne sont pas pour autant des infrastructures marginales ; certains faisceaux de voies de service jouent un rôle prépondérant dans l'exploitation ferroviaire (remisage des rames aux heures creuses ou la nuit, bases travaux, etc.).

[49] Cet ICV est légèrement différent de celui utilisé par SNCF Réseau, qui affecte la note 10 à un actif atteignant sa fin de vie ; la note de 0 est atteinte quelques années plus tard.

Cependant, à l'échelle du réseau, le patrimoine des voies de service est pléthorique ; l'évaluation des besoins de renouvellement devrait ainsi reposer sur une analyse préalable des besoins de l'exploitation qui dépasse le cadre de la mission.

Les auditeurs estiment toutefois que les besoins devraient de situer dans l'épaisseur du trait de leur analyse.

6.7 INSTALLATIONS FIXES DE TRACTION ELECTRIQUE

6.7.1 HYPOTHESES

Le modèle des installations fixes de traction électrique comprend un volet caténaire ainsi qu'un volet sous-stations et postes (EALE).

Le modèle de la caténaire se compose :

- d'un type d'actif « structure » ;
- d'un type d'actif « armement » subordonné (le renouvellement de la structure implique le renouvellement de l'armement) ;
- d'un type d'actif « câble porteur ».

Le remplacement du fil de contact est évalué à 50 M€/an (CE 2017).

Le renouvellement de l'armement intervient après 65 ans sur le Nord-Est et après 70 ans sur la caténaire de type 85 (suite rapide 1). Les volumes annuels sont contraints à 200 km/an dans les deux scénarios, à l'exception de la période après 2023 où la simulation prévoit deux suites rapides.

Le renouvellement complet de la caténaire (suite caténaire 2 ou hors suite) intervient de la manière suivante :

- sur les segments qu'un diagnostic d'état détaillé, débuté en 2010, qualifie de problématique (« poteaux avec risques de chute ») ;
- sur la caténaire de type midi après 70 ans ; elle sera renouvelée hors suite ; on admet que les caténaires de ce type équipant les lignes des groupes UIC 7 à 9 seront déposées en fin de vie ;
- pour le reste, la caténaire est renouvelée après 100 ans.

La suite caténaire 2 réalise 120 km de renouvellement par an.

La caténaire du RER C est traitée de manière indépendante ; son renouvellement est traité au cours des 5 à 10 premières années de simulation.

Le renouvellement de la structure et/ou de l'armement n'engendre pas le renouvellement des câbles porteurs ; ils seront traités de manière indépendante, après 80 ans pour les câbles en bronze et de 100 ans pour les câbles porteurs en aluminium et en alliage aluminium acier. La durée de vie des câbles porteurs en acier dépend d'une note d'état de corrosion ; elle varie de 13 à 100 ans.

Le modèle des équipements d'alimentation des lignes électrifiées (EALE) comprend :

- les postes électriques dont la partie haute tension est renouvelée après 60 ans et celles de basse tension après 30 ans ;
- les sous-stations dont les groupes de tractions sont remplacés après 60 ans et le génie civil après 120 ans ;
- les centraux sous-stations dont la durée de vie est de 50 ans pour les technologies anciennes et de 25 ans pour les centraux informatisés ; la couche informatique est remplacée après 15 ans.

Les coûts unitaires ont été fournis par SNCF Réseau.

6.7.2 ESTIMATIONS DES BESOINS

Le scénario suit la trajectoire du contrat de performance jusqu'en 2026 ; les simulations tiennent également compte des capacités industrielles disponibles, notamment de l'introduction des suites rapides caténaires. L'écart entre les besoins théoriques simulés et la trajectoire s'élève à 160 M€/an.

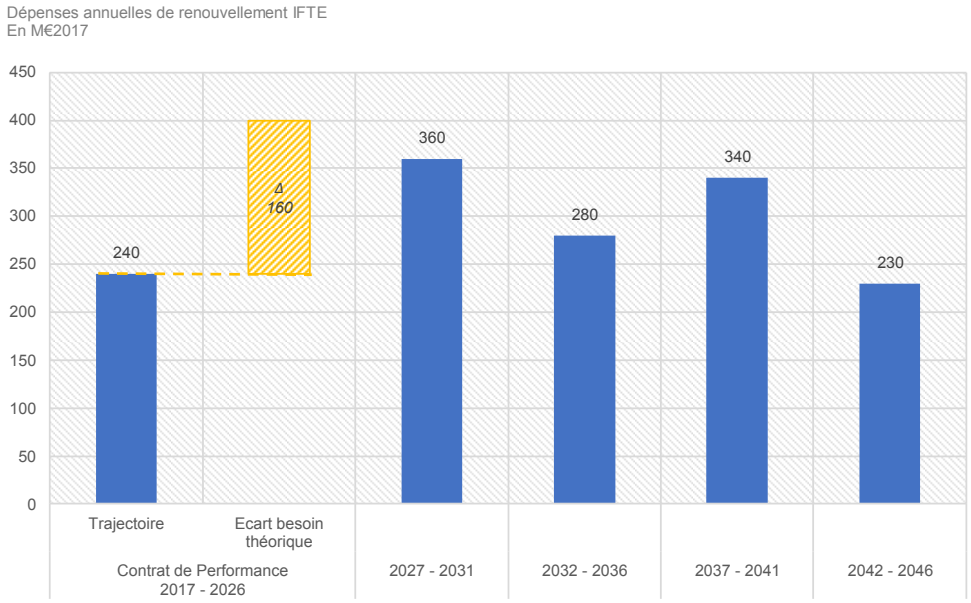


Figure 28 : Volumes financiers nécessaires au renouvellement des IFTE.

L'évolution de la part hors d'âge ainsi que celle de l'indice de consistance confirment le constat.

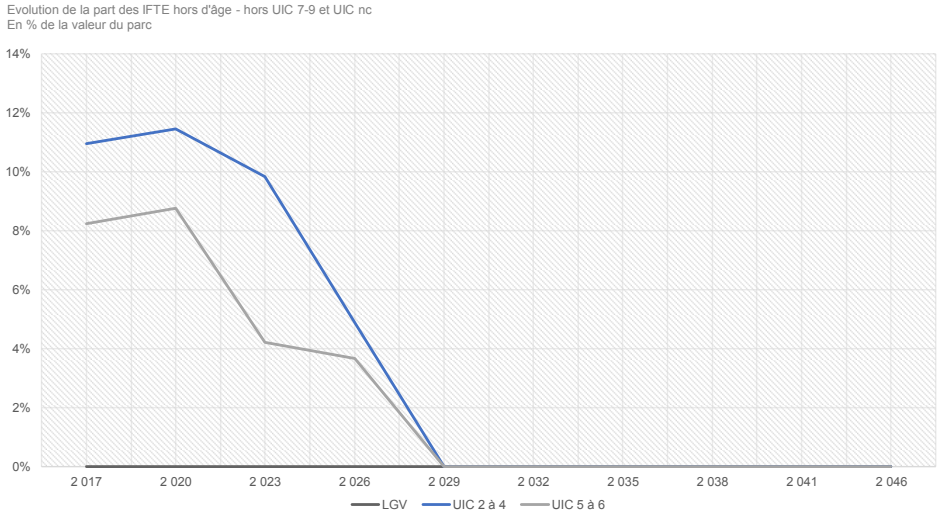


Figure 29 : Évolution de la part d'IFTE « hors d'âge ».

À l'issue du contrat de performance, environ 10 % du parc d'IFTE se trouvera hors d'âge ; le doublement théorique des budgets en fin de contrainte, dès 2026, permettrait d'éradiquer les actifs hors d'âge d'ici la fin de la décennie.

Enfin, le graphique suivant illustre l'évolution des indices de consistance des IFTE.

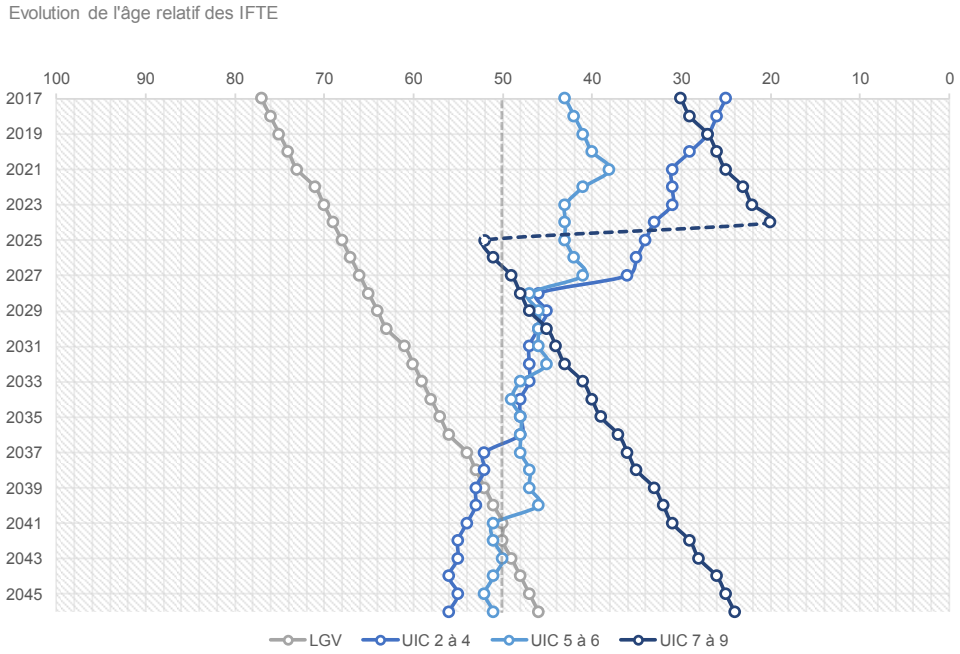


Figure 30 : Évolution de l'indice de consistance des IFTE.

La politique de renouvellement ambitieuse permet d'atteindre une substance stabilisée au cours de la deuxième moitié des années 2030. La trajectoire de l'indice des caténaires des lignes à grande vitesse est propre à un système d'actifs d'âges homogènes ; enfin, la discontinuité de l'indice IFTE des lignes UIC 7 à 9 coïncide avec la dépose de la caténaire midi, prévue en 2024.

Constat 10 :

Selon l'estimation des auditeurs, la maîtrise de la substance des installations fixes de traction électrique nécessitera un quasi doublement des budgets IFTE dès la moitié des années 2020.

6.8 SIGNALISATION

6.8.1 HYPOTHESES

Le modèle des équipements de signalisation comprend deux types d'actifs :

- les postes de signalisation, toutes les couches comprises, de l'interface homme-machine aux équipements de campagne ; leur durée de vie varie de 80 ans, pour les postes électromécaniques ou mécanique à 60 ans pour les postes électriques à relais et 40 ans pour les postes informatisés ;
- les blocks automatiques lumineux, dont la durée de vie est estimée à 60 ans.

Ces durées de vie sont des valeurs « standards » que l'on retrouve ailleurs, en Europe. Les durées de vie auxquelles aboutissent les scénarios stratégiques de SNCF Réseau sont plus élevées (certains postes électriques à relais dépasseront 70 ans) mais elles ne sont que la conséquence du sous-investissement et non une cible de planification en soit.

Le modèle de la signalisation admet certaines simplifications :

- premièrement, les scénarios développés pas SNCF Réseau tiennent compte de nombreux facteurs techniques et organisationnels, tels que capacité à faire en central et en directions régionales, politiques de produits (relais de type S1, etc.), synchronisation des programmes (renouvellement, CCR, ERTMS), autant de facteurs qu'il n'y a pas lieu de remettre en question mais dont l'intégration nécessite un investissement important ;
- deuxièmement, les simulations ont pour objectifs d'estimer des ordres de grandeur.

Les coûts unitaires ont été tirés des documents détaillant la stratégie de modernisation des postes[50].

6.8.2 ESTIMATIONS DES BESOINS

Le scénario suit la trajectoire du contrat de performance jusqu'en 2026 ; dès 2027, les volumes financiers passent d'environ 450 M€/an à 620 M€/an en moyenne.

[50] « Stratégie de modernisation de la signalisation, résultats de la phase 2 » et fichiers Excel® associé, octobre 2017.

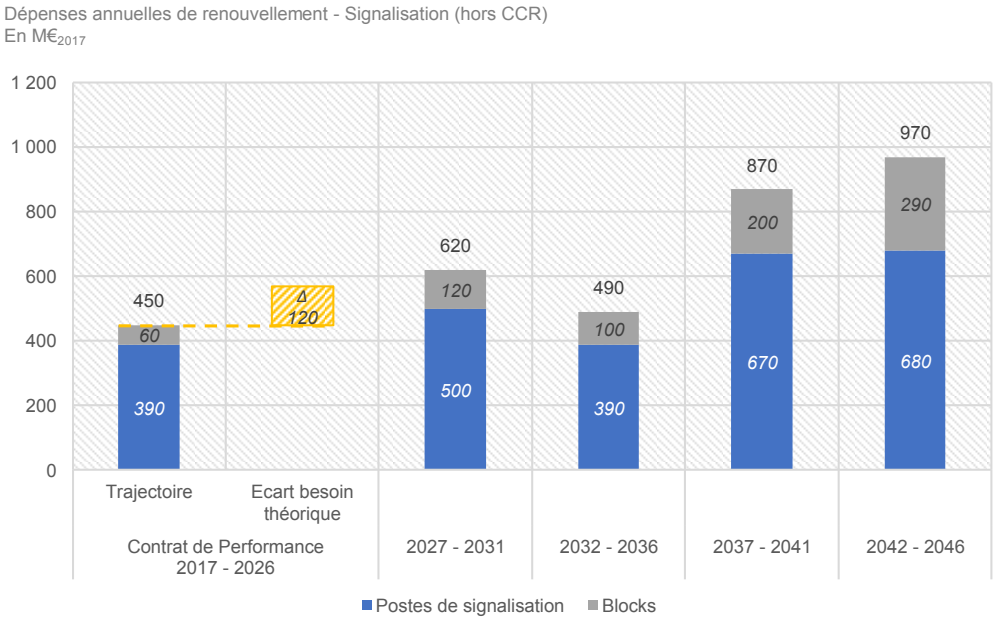


Figure 31 : Volumes financiers nécessaires au renouvellement de la signalisation.

L'écart entre la trajectoire et les besoins théoriques de renouvellement est estimé à 120 M€/an, sur la période 2017 -2026.

Le scénario simulé permet d'éradiquer les composants « hors d'âge » d'ici la fin des années 2030, à condition que les budgets en conséquence puissent être mobilisés.

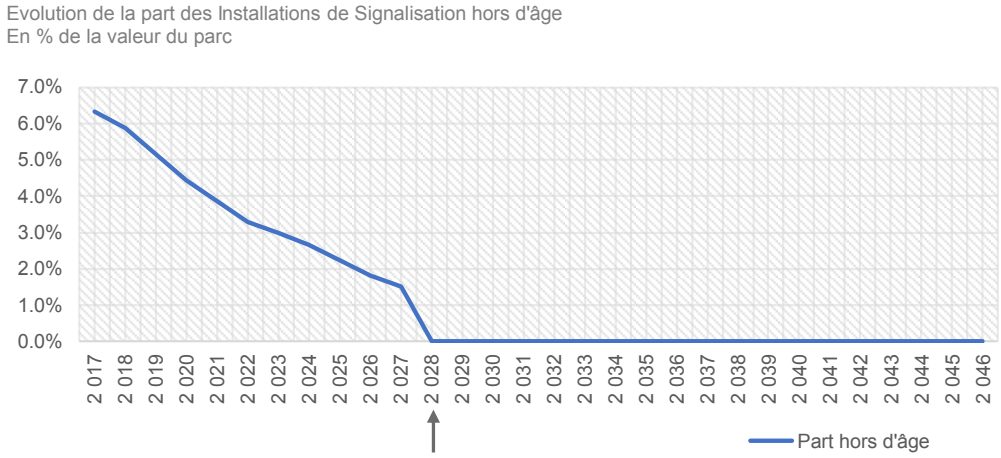


Figure 32 : Évolution de la part d'équipements de signalisation « hors d'âge ».

Enfin, l'évolution de l'indice de consistance des équipements de signalisation montre que la substance du parc devrait se stabiliser au cours des années 2040, à condition que l'effort budgétaire soit à la hauteur.

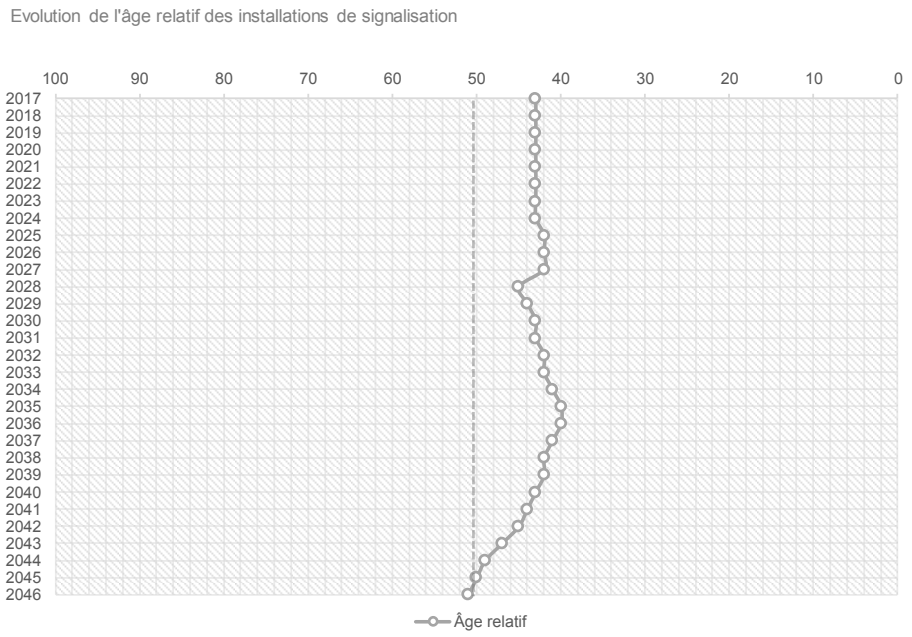


Figure 33 : Évolution de l'indice de consistance des équipements de signalisation.

Selon la stratégie présentée par SNCF Réseau, les contraintes sur les capacités industrielles et les prévisions budgétaires moins favorables que celles estimées par les auditeurs engendreront le maintien en service d'actifs et de technologies qui auront sensiblement dépassé leur durée de vie (on parle de postes électriques de 75 ans – la durée de vie économique « standard » de ce type de technologies est estimée à 60 ans).

La durée de vie des postes électriques est déterminée par l'état des câbles qui constitue une famille d'équipements difficile à maintenir ; en effet, la seule solution consiste à remplacer le câblage, opération extrêmement délicate dans un poste de signalisation et désastreuse sur le plan économique.

Par conséquent, prolonger la des postes au-delà de 65 ans constitue une prise de risques importante en matière de maintien en condition opérationnelle.

Constat 11 :

La signalisation constitue sans aucun doute la problématique industrielle la plus délicate de SNCF Réseau ; la maîtrise de la substance du parc d'actifs nécessiterait une augmentation de 2/3 des budgets de renouvellement dès les années 2020.

6.9 INSTALLATIONS DE TELECOMMUNICATION

6.9.1 HYPOTHESES

Les auditeurs n'ont pas disposé de données de parc en suffisance pour procéder à une évaluation robuste des besoins de renouvellement des équipements de télécommunication.

De plus, le renouvellement de ce type d'équipements s'opère par programmes, au gré des obsolescences et des sauts fonctionnels souhaités : le plan fibre, le déploiement du GSM-R, le remplacement des pupitres téléphoniques de gare, celui des téléphones de voies, etc.

La Direction ERTMS & Telecom de l'ingénierie précise que, *« depuis 2007, le constat a été fait du vieillissement des assets de télécommunication. Un effort de régénération à marche forcée a été entrepris. Entre 2007 et ce jour, l'enveloppe budgétaire de régénération a été multipliée par 6. Cependant, cette dernière ne peut répondre à l'obsolescence qui est présente dans toutes les familles des assets de télécommunication. Le traitement des installations désuètes se fait aujourd'hui par une politique d'investissement ciblée. »*

La Direction ajoute :

« *Pour construire des réseaux performants et sortir de l'obsolescence une grande partie des assets actuels, une démarche de transformation digitale s'appuyant sur un programme de constitution d'un socle avec volet télécommunication concernant des données. Ce programme constitue un fédérateur et un accélérateur de la transformation des infrastructures télécoms de SNCF Réseau*. »

Elle évoque un programme prévoyant :

- le remplacement du GSM-GFU,
- le désengagement de la radio sol-train analogique (RST-A),
- l'évolution de GSM-R vers IP,
- la complétude de la modernisation des commutateurs de téléphonie ferroviaires,
- la modernisation des postes de téléphonie extérieure (PTE),
- le désengagement progressif du cuivre,
- etc.

Sur ces bases-là, les auditeurs estiment les besoins sur la base des considérations suivantes :

- les réseaux de télécommunication constituent, avec l'émergence de nouvelles technologies (télécommande de l'exploitation, ERTMS et CBTC,

télésurveillance, etc.) une pierre angulaire d'une exploitation ferroviaire moderne ;

- les gestionnaires d'infrastructures ferroviaires d'Europe de l'Ouest investissent régulièrement dans leur réseau de télécommunication qu'ils estiment vitaux pour une exploitation robuste et performante ;
- les travaux de constitution de la base d'actifs régulés datant de 2010 calculaient à l'époque un amortissement moyen annuel d'environ 110 M€/an (CE2017) mais sur un périmètre plus réduit que celui d'aujourd'hui ;
- les trajectoires définies par le contrat de performance prévoient un effort moyen de 132 M€/an (CE 2017) entre 2017 et 2021 ; selon le contrat, cet effort diminue avec le temps ;
- les spécialistes de SNCF Réseau estiment que la trajectoire est insuffisante à moyen et long terme.

Sur la base des éléments cités ci-dessus et à défaut de scénario plus aboutis, les auditeurs choisissent de reconduire la trajectoire budgétaire actuelle tout en fixant une valeur plancher de 100 M€/an (qui est un sans doute un minorant de la valeur moyenne d'amortissement).

6.9.2 ESTIMATION DES BESOINS

Le tableau ci-dessous résume l'estimation budgétaire des auditeurs.

2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	Au-delà
140	125	148	126	122	106	103	96	90	86	100

Tableau 17 : Volumes budgétaires de renouvellement des équipements de télécommunication ; les montants sont en M€ (CE 2017).

7 CONCLUSIONS

7.1 PREMIER CONSTAT : A PERIMETRE CONSTANT, LES BESOINS D'INVESTISSEMENTS DEMEURENT ELEVES.

Les volumes financiers nécessaires au maintien de la substance des infrastructures des lignes à grande vitesse, des zones denses et des lignes des groupes UIC 2 à 6 vont demeurer à un niveau élevé, sensiblement supérieur à ce que le suggère la trajectoire du contrat de performance.

Constat stratégique 1

Les comparaisons internationales montrent que la France investit sensiblement moins sur son réseau que la moyenne européenne ; elles étayent par conséquent ce constat.

Les estimations des auditeurs confirment celles de SNCF Réseau ; elles montrent que les besoins devraient atteindre 3,0 G€/an (CE 2017) en moyenne sur les 15 prochaines années. Exprimé en euros courants, la trajectoire s'élever ainsi à 3,8 G€/an en 2030, 3,1 G€/an en 2035 et 4,7 G€/an en 2040 (taux d'actualisation de 2 %/an).

Pour mémoire, les estimations sont établies sur la base des coûts unitaires actuels, sans scénario d'amélioration d'efficience industrielle du renouvellement. Les auditeurs expliquent cette posture conservatrice par le fait que, premièrement, les risques n'ont pas été monétisés (mise en application de la loi Didier, évolution défavorable des coûts liés à l'ERTMS, l'interdiction prévisible du Glyphosate, etc.), puis que les hypothèses industrielles sur lesquelles se base le scénario de productivité du contrat de performance sont incertaines et donc, elles-mêmes, sources de risques.

Les efforts consentis depuis la fin des années 2000 permettent le rattrapage progressif du retard de renouvellement des voies et des appareils de voie ; sous réserve du maintien de l'effort financier, la substance de ce patrimoine devrait se stabiliser dès 2025 – 2030. En revanche, résoudre l'obsolescence des caténaires les plus anciennes, maîtriser le vieillissement des ouvrages d'art et moderniser la signalisation nécessiteront des niveaux d'investissements élevés au cours du prochain quart de siècle.

Le cycle de vie des infrastructures n'étant qu'un éternel recommencement, il sera alors temps d'engager le remplacement des actifs renouvelés au début du 21ème siècle. Ceci devrait être particulièrement le cas des équipements électroniques et informatisés dont le périmètre fonctionnel étendu se paie par des durées de vie significativement plus courtes que les technologies électromécaniques du 20ème siècle.

Comme le confirment les comparaisons internationales, les coûts de possession d'un réseau ferré performant sont élevés. Ceci n'enlève pourtant rien à l'intérêt du mode ferroviaire dans son domaine de pertinence socio-économique.

Un certain nombre d'études le disent depuis plus de 10 ans, il est justement urgent d'interroger la pertinence socio-économique du réseau ferré national, tant sur le plan de son utilité – mais ce n'est pas le sujet de cette mission – que sur celui de la maîtrise des coûts de production.

En matière de maîtrise des coûts, les auditeurs émettent plusieurs préconisations, certaines figurant déjà dans de précédents travaux ; elles se basent sur les résultats de la mission et sur les bonnes pratiques internationales. L'exercice n'est pertinent qu'à l'échelle des sous-réseaux.

7.2 L'ENJEU DE LA ZONE DENSE : FIABILISER LES EQUIPEMENTS ET AMELIORER LA MAINTENABILITE DES INFRASTRUCTURES

L'enjeu socio-économique des zones denses, en particulier en Île-de-France, est une évidence. Les statistiques d'incidents et de régularité montrent cependant que la performance de l'exploitation n'y est pas encore au rendez-vous.

Les leviers d'amélioration de l'équilibre socio-économique du ferroviaire en zones denses sont de nature technique.

Recommandation stratégique 1

Les auditeurs proposent de réinterroger les technologies et les principes techniques de signalisation de telle manière à :

- réduire le nombre de composants en voie (détecteurs, balises, pédales d'annonce, etc.) afin de limiter les sources d'incidents, de diminuer les coûts de surveillance et d'entretien et d'améliorer la maintenabilité du système dans son ensemble ; il s'agit notamment d'évaluer le potentiel d'économie que pourrait générer le recours progressif aux compteurs d'essieux en remplacement des circuits de voie, à l'aune de la politique de renouvellement des rails (les circuits de voie contribuent à la détection des rails cassés), des coûts de maintenance des joints isolants collés ainsi que de la fiabilité et de la vulnérabilité des équipements ;

- mettre un terme à la superposition de générations de technologies (crocodiles et détonateurs puis le KVB et bientôt Nexteo ou ERTMS) ; cet effet sandwich, qui trouve son origine dans une difficile remise en question des solutions techniques passées lorsqu'elles touchent la sécurité, nécessite le développement et le

maintien d'interfaces de plus en plus complexes, provoque l'accroissement du nombre d'objets en voie et complique ainsi la tâche du mainteneur.

Le rapprochement de l'ingénierie de conception de celle de maintenance, tel que le prévoit le projet d'organisation de SNCF Réseau au 1er juillet 2018, ainsi que le renforcement des compétences en exploitation sont d'excellent augure.

La modernisation des principes de signalisation requiert également une application « à juste échelle » des analyses MSC (méthode de sécurité commune - principe du GAME) ; le sujet est évoqué par une prochaine recommandation.

Recommandation stratégique 2 :

Les auditeurs recommandent la poursuite de la politique voie développée pour la zone dense, notamment le renouvellement anticipé des rails en zones sensibles du point de vue de la fatigue de contact (train BOA).

Les durées de vie préconisées par cette politique se rapprochent de celles que pratiquent les réseaux à circulation dense.

Recommandation stratégique 3 :

La robustesse de l'exploitation et la maintenabilité des caténaires profiteront d'un découpage plus fin des sections électriques, de telle manière à éviter qu'un incident localisé ne paralyse une zone étendue.

Il s'agit de garantir dans la durée les conditions cadres qui permettront de poursuivre la politique de redécoupage électrique suivie par SNCF Réseau Île-de-France.

7.3 L'ENJEU DES AXES NATIONAUX (RESEAU DE RANG 1) : MODERNISER L'INFRASTRUCTURE SOUS EXPLOITATION

Le réseau de premier rang, que l'on assimile ici aux lignes à grande vitesse ainsi qu'aux lignes des groupes UIC 2 à 4 fait face à deux défis : moderniser les infrastructures et gérer le volume de chantiers.

À l'exception des lignes à grande vitesse, le niveau de modernité des infrastructures est en général hétérogène : la voie est renouvelée mais l'alimentation en énergie de traction, la signalisation ou les équipements de télécommunication sont anciens. Cette situation nuit à la robustesse globale du système.

Or, premièrement, les équipements ferroviaires jouissent de durées de vie plutôt longues ; les chances de procéder aux sauts de performance essentiels sont ainsi rares, à moins que l'on ne consente à de coûteux amortissements anticipés.

Puis, les contraintes systémiques entre domaines techniques (la modification d'un plan de voies impacte la caténaire et la signalisation, etc.) et les bénéfices que l'on tire d'une mutualisation des chantiers rendent nécessaire une harmonisation des programmes de renouvellement ou de modernisation entre disciplines.

Enfin, malgré les volumes de renouvellement de la voie et des appareils de voie déjà réalisés, la quantité de travaux se maintiendra à un niveau élevé ; la répartition des capacités entre sillons et travaux demeurera un sujet délicat, malgré la mise en œuvre depuis quelques années de processus capacitaires améliorés.

Ces défis militent pour un processus de planification par fuseau et par axe.

Recommandation stratégique 4 :

La modernisation et le maintien de la substance des axes forts du réseau national exigent une planification par fuseau et par axe.

Par fuseau, les auditeurs entendent un ensemble coordonné d'axes ; à titre d'illustration, un fuseau Paris-Marseille comprendrait la ligne à grande vitesse, la ligne classique Paris – Lyon – Marseille, la ligne de la rive droite du Rhône, etc.

L'échelle du fuseau doit permettre une planification stratégique en mesure de développer des scénarios de continuité de l'exploitation par le biais d'itinéraires alternatifs exploitables dans des conditions acceptables par les entreprises ferroviaires, tant en cas d'incidents que de travaux.

Le processus de planification devrait porter sur deux horizons distincts : l'horizon stratégique (au-delà de 5 à 6 ans) et l'horizon tactique (au-delà de 2 ans). Le processus aboutirait à des schémas directeurs d'axes, à l'image des travaux effectués par la direction Accès Réseau et celle de Maintenance & Travaux.

Les schémas emportent une dimension exploitation robuste et structurante.

Le processus doit comporter une phase de concertation, impliquant les parties prenantes de la société ainsi que les entreprises ferroviaires.

Il serait utile, afin de réduire les aléas nuisibles le long de la chaîne de planification, de travailler par périodes de programmation, à l'image du système anglais (*planning periods*), et de sévériser la phase d'émergence : les projets dont le financement n'est pas garanti à un horizon raisonnable doivent être évacués.

La modernisation coordonnée des domaines techniques sur un axe donné y nécessitera inévitablement une concentration temporaire de moyens au détriment d'autres axes. Cette concentration sera d'autant plus forte que les enveloppes budgétaires ou les capacités industrielles seront limitées.

Recommandation stratégique 5 :

La conduite des projets de réalisation doit être subordonnée aux schémas directeurs de fuseaux et d'axes. Un schéma directeur de fuseaux et d'axes ne peut être modifié a posteriori sans l'aval de l'instance qui en assume la responsabilité.

Les schémas de fuseaux et d'axes sont les plans de l'architecte du réseau. Ils sont nécessaires à la « commande » que le gestionnaire du réseau passe aux gestionnaires des actifs et des programmes, en particulier dans le domaine des télécommunications et de la signalisation.

7.4 L'ENJEU DU RESEAU DE RANG 2 : ACCROITRE LES CHANCES DE PERENNITE

Les trajectoires budgétaires actuelles, si elles devaient perdurer, ne peuvent répondre à la fois aux besoins de régénération et de modernisation de la zone dense, du réseau de rang 1 et du réseau de rang 2.

En partant d'une hiérarchisation rudimentaire de l'effort de renouvellement – le réseau de rang 2 est servi en dernier – il est permis de douter de la pérennité des lignes les moins circulées. L'effet pourrait être accentué par l'émergence de nouvelles formes de mobilités innovantes, qui viendraient éroder les volumes de transport actuels.

Recommandation stratégique 6 :

Les auditeurs estiment opportun de moderniser le business case des lignes du réseau de rang 2 afin d'en améliorer le bilan économique.

En plus des recommandations 4 et 5, qui sont également applicables au réseau de rang 2, les auditeurs recommandent une série d'orientations susceptibles d'augmenter l'attractivité des lignes et d'en réduire les coûts :

- coordination sensiblement améliorée avec les réseaux de transports régionaux, quel que soit le mode de transport (encourager la mise en place de pôles multimodaux) ;

- renforcement du cadencement de l'horaire afin de systématiser au maximum la production ferroviaire et d'en réduire les coûts.

Du côté de l'infrastructure, le cadencement (sur les lignes de densité moyenne), permet d'envisager, à volume de sillons constant, la réduction du parc d'actifs à maintenir, les incompatibilités entre sillons se produisant toujours aux mêmes endroits. Ainsi, certaines sections de lignes peuvent être mises à simple voie

lorsqu'arrive l'heure du renouvellement, les installations de gares peuvent être simplifiées à l'essentiel, etc. Certaines *branch lines* anglaises font figure d'exemple.

7.5 TRAITER AU CAS PAR CAS LA GESTION DU RESEAU DE RANG 3

La question de l'utilité socio-économique et de la pérennité du réseau de rang 3, constitué de lignes des groupes UIC 7 à 9, est évoquée de manière récurrente, depuis de nombreuses années.

En 2005 déjà, les auditeurs mentionnaient que, « *parmi les réseaux européens comparés, seul le réseau ferré national français compte une telle proportion de lignes à faible trafic. Il y a lieu de s'interroger sur la pertinence du maintien d'un trafic très faible sur un système conçu pour le transport de masse*. »

Les auditeurs ne se prononcent pas sur le maintien en service de ce patrimoine mais recommandent, comme l'on fait d'autres études, d'en interroger l'utilité socio-économique.

La résolution non dogmatique de la question – il s'agit d'éviter à la fois le maintien à tout prix et un nouveau plan « *Beeching* »[51], exige une approche au cas par cas, impliquant une implication accrue des parties prenantes régionales.

Recommandation stratégique 7 :

En effet, l'utilité de ces lignes est fortement tributaire de leur intégration dans les systèmes de mobilité régionaux. Les synergies qu'il est possible d'instaurer ne sont identifiables et mobilisables qu'au niveau local.

Par conséquent, les auditeurs recommandent d'étudier les modalités d'une résolution au cas par cas de la gestion des infrastructures et de l'exploitation de ces lignes. Il s'agit de veiller, cependant, à ce que le financement de la pérennisation de ces infrastructures ne mette pas en péril celui du maintien de la substance du réseau amont, de rang 1 et 2.

[51] Le Dr. *Richard Beeching*, auteur du rapport du même nom, est à l'origine de la fermeture rapide d'environ 30 % (8000 km) du linéaire du réseau ferré anglais dans les années soixante ; la rapidité de l'exercice, un calcul économique sans vision systémique et le manque d'efficacité des solutions de substitution sont pointés du doigt pas certains experts.

Recommandation stratégique 8 :

Le traitement au cas par cas de la gestion du réseau de rang 3 devrait être accompagnée de l'élaboration de standards techniques adaptés au niveau de trafic, tout en respectant les bonnes pratiques en matière d'analyse MSC[52]. Il ne s'agit pas de réduire les exigences mais d'adapter les solutions techniques aux niveaux de risques, dans l'objectif de réduire les coûts du maintien ou de la remise en exploitation de ces lignes.

7.6 TRANSFORMER CERTAINES PRATIQUES D'ASSET MANAGEMENT

Relever les défis qu'évoquent les chapitres précédents requière une série de transformations des pratiques de l'entreprise, telles que :

- le passage d'une culture du prescrit à une culture du processus et de l'amélioration continue (il s'agit d'un prérequis à la mise en œuvre d'un asset management efficient) ;
- l'amélioration de la chaîne de planification, y-compris la clarification des prérogatives et des responsabilités ;
- l'instauration de processus de gestion de la donnée et la poursuite de la mise en qualité de l'information relative aux actifs, aux politiques de maintenance et à la performance de l'exploitation ;
- le renforcement de l'ingénierie d'exploitation ;
- le recours accru à la télésurveillance ainsi qu'à la maintenance conditionnelle puis prédictive ;
- etc.

Ces sujets ont été évoqués par le rapport « robustesse », publié courant 2017.

Parmi les pratiques qu'il serait important de faire évoluer figure l'application des méthodes de MSC[52] (principe du GAME – Globalement Au Moins Équivalent).

Le principe du GAME dit que la modification d'un système existant ou la conception et la réalisation d'un nouveau système doivent être exécutées de telle manière à ce que le niveau global de sécurité soit au moins équivalent au niveau de sécurité existant ou à celui de systèmes existants assurant des services ou des fonctions comparables ; le principe est ancré dans le cadre réglementaire national.

[52] Méthode de sécurité commune.

Le principe du GAME est pensé de telle manière à permettre l'innovation et l'amélioration continue des systèmes existants, tout en proposant un garde-fou contre certaines dérives typiques liées au progrès (« au toujours davantage »).

Cependant, l'efficacité du principe dépend de son application correcte, en particulier de la juste définition du périmètre d'analyse. Or, on constate que tel n'est pas systématiquement le cas au sein de SNCF Réseau : il arrive que les études de conception ou de modification des systèmes invalident des options techniques efficientes (améliorant le niveau de sécurité global) parce qu'elle n'intègrent pas les effets bénéfiques de ces options sur l'ensemble du système ou du périmètre fonctionnel (une réduction du niveau de sécurité intrinsèque d'un sous-système peut être compensée par l'augmentation du niveau de sécurité d'un autre sous-système).

Ceci peut constituer un frein à l'innovation car les études invalident les solutions techniques intéressantes ou en exigent un niveau de sécurité intrinsèque tel que leur mise en œuvre devient prohibitive (les sous-systèmes tendent à devoir répondre systématiquement aux exigences de sécurité de niveau SIL 4[53]).

Recommandation stratégique 9 :

L'application des méthodes de sécurité commune devrait être améliorée de telle manière à ce que l'évaluation des niveaux de sécurité puisse garantir le respect du principe du GAME tout en ouvrant la voie à des solutions techniques innovantes et meilleur marché.

Vevey, Lausanne et Rotterdam, le 19.03.2018.

* * *

* *

[53] *Safety Integrity Level* ; le niveau 4 est le plus exigeant.