A large, abstract graphic consisting of several concentric, overlapping circular bands in shades of purple and lavender, creating a sense of depth and movement. The bands are thick and have a slight gradient.

**RAPPORT
D'ENQUÊTE TECHNIQUE
sur la survitesse d'un TGV
à La Milesse (72)
le 22 décembre 2019**

Juillet 2021

**Bureau d'Enquêtes sur les Accidents
de Transport Terrestre**

Affaire n° BEATT-2020-01

**Rapport d'enquête technique
sur la survitesse d'un TGV
à La Milesse (72)
le 22 décembre 2019**

Bordereau documentaire

Organisme auteur : Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre (BEA-TT)

Titre du document : Rapport d'enquête technique sur la survitesse d'un TGV à La Milesse (72)
le 22 décembre 2019

N° ISRN : EQ-BEAT--21-6--FR

Proposition de mots-clés : signalisation, ETCS, vérification, évaluation, essai en ligne, aiguillage

Avertissement

L'enquête technique faisant l'objet du présent rapport est réalisée dans le cadre des articles L. 1621-2 à 1622-2 et R. 1621-1 à 1621-26 du Code des transports relatifs, notamment, aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre.

Cette enquête a pour seul objet de prévenir de futurs accidents. Sans préjudice, le cas échéant, de l'enquête judiciaire qui peut être ouverte, elle consiste à collecter et analyser les informations utiles, à déterminer les circonstances et les causes certaines ou possibles de l'évènement, de l'accident ou de l'incident et, s'il y a lieu, à établir des recommandations de sécurité. Elle ne vise pas à déterminer des responsabilités.

En conséquence, l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

Erratum : page 47, paragraphe 6

La version initiale du rapport mentionnait : « Ce processus est cohérent avec celui mis en œuvre depuis les premiers postes d'aiguillage avec composante informatique (postes tous relais à commande informatique PCRI) [...] »

La présente version est corrigée en : « Ce processus est cohérent avec celui mis en œuvre depuis les premiers postes d'aiguillage à enclenchements informatiques (postes d'aiguillage informatique PAI) [...] »

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| GLOSSAIRE..... | 8 |
| RÉSUMÉ..... | 11 |
| 1 - CONSTATS IMMÉDIATS ET ENGAGEMENT DE L'ENQUÊTE..... | 13 |
| 1.1 - Les circonstances de la survitesse..... | 13 |
| 1.2 - Les mesures prises après la connaissance de la survitesse..... | 14 |
| 1.3 - L'engagement et l'organisation de l'enquête..... | 14 |
| 2 - CONTEXTE DE L'ÉVÈNEMENT..... | 15 |
| 2.1 - La ligne à grande vitesse Bretagne Pays de la Loire..... | 15 |
| 2.1.1 - Description..... | 15 |
| 2.1.2 - Les raccordements et la particularité du contournement Fret du Mans..... | 16 |
| 2.2 - Un partenariat public-privé..... | 16 |
| 2.3 - Le TGV 8055..... | 17 |
| 2.4 - European Train Control System, le système européen de signalisation ferroviaire..... | 18 |
| 2.4.1 - L'historique du système..... | 18 |
| 2.4.2 - La conduite d'un train sous système ETCS..... | 19 |
| 2.4.3 - Les niveaux d'ETCS..... | 20 |
| 2.5 - La conduite à tenir en cas de choc anormal..... | 21 |
| 2.5.1 - Définition du choc anormal..... | 21 |
| 2.5.2 - La procédure vue du gestionnaire d'infrastructure..... | 21 |
| 2.5.3 - La procédure vue de l'entreprise ferroviaire SNCF Voyageurs..... | 22 |
| 3 - COMPTE RENDU DES INVESTIGATIONS EFFECTUÉES..... | 23 |
| 3.1 - Les résumés des déclarations et témoignages..... | 23 |
| 3.1.1 - Les déclarations du conducteur du TGV 8055..... | 23 |
| 3.1.2 - Les déclarations du chef de bord du TGV 8055..... | 24 |
| 3.1.3 - Les déclarations de la contrôleuse de la rame arrière du TGV 8055..... | 24 |
| 3.1.4 - Les déclarations du supérieur hiérarchique du conducteur..... | 24 |
| 3.1.5 - Les déclarations des agents du poste de commande et de contrôle à distance..... | 25 |
| 3.1.5.1 - L'agent circulation..... | 26 |
| 3.1.5.2 - Le « pauseur »..... | 27 |
| 3.1.6 - Le témoignage du mainteneur OPERE..... | 27 |
| 3.2 - L'examen des données de l'enregistreur de bord du train..... | 28 |
| 3.3 - Les risques encourus lors de la survitesse..... | 29 |
| 3.3.1 - Le renversement par survitesse..... | 29 |
| 3.3.2 - Le choc anormal..... | 29 |
| 3.4 - Les facteurs de risque spécifiques à la nouvelle infrastructure ferroviaire..... | 30 |
| 3.4.1 - Les multiples types d'aiguilles utilisées..... | 30 |
| 3.4.2 - Les multiples systèmes de signalisation utilisés..... | 31 |
| 3.4.3 - Les multiples acteurs de la construction de la LGV BPL..... | 31 |
| 3.5 - Une organisation pour la réalisation d'un projet à haut niveau de sécurité..... | 33 |
| 3.5.1 - Une organisation pour couvrir les risques : le « cycle en V »..... | 33 |

| | |
|---|-----------|
| 3.5.2 - La sûreté de fonctionnement de la signalisation..... | 35 |
| 3.5.3 - Les évaluations..... | 35 |
| 3.5.4 - L'Établissement Public de Sécurité Ferroviaire..... | 36 |
| 3.6 - La production de ETCS niveau 2 pour la LGV BPL..... | 37 |
| 3.6.1 - La production des postes de signalisation – le paramétrage..... | 37 |
| 3.6.1.1 - Le processus..... | 37 |
| 3.6.1.2 - Le paramétrage du 100 km/h sur la traversée 7201-7202..... | 39 |
| 3.6.2 - La vérification du paramétrage..... | 40 |
| 3.6.2.1 - Les tâches..... | 40 |
| 3.6.2.2 - Le témoignage de l'encadrant des vérificateurs..... | 41 |
| 3.6.2.3 - Le témoignage d'un vérificateur du paramétrage des RBC..... | 42 |
| 3.6.2.4 - L'évaluation du processus de vérification du paramétrage par CERTIFER..... | 42 |
| 3.6.2.5 - Analyse du processus de vérification du paramétrage..... | 43 |
| 3.6.3 - Les essais en plateforme de validation du paramétrage..... | 44 |
| 3.6.3.1 - Les tâches..... | 44 |
| 3.6.3.2 - Analyse des essais en plateforme..... | 44 |
| 3.6.3.3 - Évaluation des essais en plateforme par CERTIFER..... | 45 |
| 3.6.3.4 - Le regard de l'EPSF..... | 45 |
| 3.6.4 - Analyse et conclusion..... | 45 |
| 3.7 - Les essais d'intégration et les essais dynamiques..... | 46 |
| 3.7.1 - Présentation..... | 46 |
| 3.7.2 - Le regard des évaluateurs sur les essais dynamiques sous ETCS niveau 2 de la LGV BPL..... | 47 |
| 3.7.3 - Une détection ratée : la marche 3.3 du mardi 25 avril 2017..... | 48 |
| 3.8 - ETCS, un nouveau système..... | 49 |
| 3.9 - Les mesures prises par l'industriel..... | 50 |
| 3.10 - L'action de l'EPSF..... | 50 |
| 3.11 - Conclusion sur les facteurs organisationnels contributifs..... | 51 |
| 4 - ANALYSE DU DÉROULEMENT DE L'INCIDENT..... | 53 |
| 5 - ANALYSE DES CAUSES ET FACTEURS ASSOCIÉS, ORIENTATIONS PRÉVENTIVES..... | 55 |
| 5.1 - Le schéma des causes et des facteurs associés..... | 55 |
| 5.2 - Les causes de l'événement..... | 56 |
| 5.3 - La vérification et la validation du paramétrage..... | 56 |
| 5.4 - Le traitement des précurseurs..... | 57 |
| 5.5 - L'évaluation de la sûreté de fonctionnement..... | 58 |
| 5.6 - Les spécificités de la LGV Bretagne-Pays de la Loire..... | 58 |
| 5.7 - La qualité des reportings des essais dynamiques..... | 59 |
| 6 - CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS..... | 61 |
| 6.1 - Les causes de l'événement..... | 61 |
| 6.2 - Les recommandations..... | 61 |
| ANNEXES..... | 63 |
| Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête..... | 64 |
| Annexe 2 : les comptes rendus de la marche d'essai 3.3 - 115-5..... | 65 |

Glossaire

- **AMEC – AMS** : Autorisation de Mise en Exploitation Commerciale – Autorisation de Mise en Service
- **AsBo** : Assessment Body, en français organisme d'évaluation
- **ATESS** : Acquisition et Traitement des Evénements de Sécurité en Statique
- **BTS** : Base Transceiver Station ; en français station émettrice-réceptrice de base
- **CENELEC** : Comité européen de normalisation en électronique et en électrotechnique
- **CLERE** : Construction de la Ligne Eiffage Rail Express, société de conception-construction du groupe Eiffage
- **DMI** : Driver Machine Interface, en français interface homme-machine
- **EF** : Entreprise Ferroviaire
- **EPSF** : Établissement Public de Sécurité Ferroviaire, autorité nationale de sécurité en France
- **ERE** : Eiffage Rail Express ; gestionnaire d'infrastructure de la LGV BPL en charge de la maintenance et du renouvellement de l'infrastructure
- **ERTMS** : European Rail Traffic Management System ; système européen de gestion du trafic ferroviaire
- **ETCS** : European Train Control System ; système européen de signalisation ferroviaire et de contrôle de vitesse
- **ETML** : European Traffic Management Layer ; couche européenne de régulation du trafic ferroviaire
- **FS** : Full Supervision ; supervision totale
- **GI** : Gestionnaire d'Infrastructure
- **GSM-R** : Global System for Mobile Communications - Railways, en français système global de communication sans fil pour le ferroviaire
- **ISA** : Independent Safety Assesor, en français évaluateur indépendant de la sécurité
- **KVB** : contrôle de vitesse par balises
- **LGV** : Ligne à Grande Vitesse
- **LGV BPL** : Ligne à Grande Vitesse Bretagne-Pays de la Loire
- **LGV EE** : Ligne à Grande Vitesse Est Européenne
- **LGV SEA** : Ligne à Grande Vitesse Sud Europe Aquitaine
- **LZB** : Linienzugbeeinflussung, en français contrôle de vitesse
- **NoBo** : Notified Body, en français organisme notifié
- **OPERE** : Opérateur de la ligne Eiffage Rail Express, mainteneur de la LGV BPL
- **PCD** : Poste de Commande à Distance
- **PK** : Point Kilométrique
- **PPP** : Partenariat Public-Privé

- **RBC** : Radio Block Center ; en français centre de canton radio
- **RFF** : Réseau Ferré de France, ancienne dénomination du gestionnaire d'infrastructure ferroviaire national aujourd'hui SNCF Réseau
- **RFN** : Réseau Ferré National
- **SEI** : Système d'Enclenchement Intégré
- **SNCF** : Société Nationale des Chemins de fer Français
- **SNCF Mobilités** : entreprise ferroviaire opérant les TGV entre Paris et Rennes. Depuis le 1^{er} janvier 2020, son nom est **SNCF Voyageurs**
- **SNCF Réseau** : gestionnaire d'infrastructure de la LGV BPL en charge de la gestion opérationnelle des circulations et des installations fixes de traction électrique.
- **TGSO** : bureau d'étude et d'ingénierie spécialisée en signalisation ferroviaire
- **TVM** : Transmission Voie Machine

Résumé

Le dimanche 22 décembre 2019, un TGV Paris – Rennes circulant sur la LGV Bretagne-Pays de la Loire est dévié sur la voie contiguë à La Milesse par suite de l'arrêt d'un train devant lui. La géométrie de l'aiguillage de déviation permet son franchissement en toute sécurité à une vitesse ne dépassant pas 100 km/h.

Or, lors du franchissement des aiguilles, le train roulait en survitesse à 165 km/h. Le train circulait sous ETCS niveau 2, le système européen de signalisation ferroviaire interopérable, et la vitesse maximale autorisée affichée au conducteur en cabine était de 170 km/h.

La survitesse du train n'a eu ni conséquence matérielle, ni conséquence humaine.

La différence de vitesse provient d'un défaut de paramétrage du système de signalisation.

Cette erreur n'a été détectée par aucune des opérations de vérification du paramétrage, ni lors des validations et essais préalables à la circulation des trains commerciaux, alors que leur objectif était d'assurer une fiabilité sans lacune du système pour la sécurité des circulations.

Une première opération de vérification du paramétrage n'a pas détecté l'erreur. Les vérifications suivantes se sont appuyées sur une base erronée. Également, des erreurs de paramétrage similaires à celle ayant conduit à la survitesse ont été corrigées mais imparfaitement exploitées, faute de retour d'expérience formalisé.

La validation du paramétrage n'a pas été effectuée concernant la donnée de la vitesse limite sur la déviation, alors que cette opération est prescrite par les exigences des normes CENELEC de sûreté de fonctionnement qui imposent une validation exhaustive des paramètres de signalisation. L'organisme évaluateur, chargé de contrôler la conformité des processus, n'a pas détecté cette non-conformité.

En parallèle, l'enquête a révélé que les essais dynamiques réalisés ont fait l'objet d'un reporting à la qualité insuffisante, retardant la compréhension de l'évènement lors de l'enquête.

Cette analyse conduit le BEA-TT à adresser quatre recommandations et trois invitations dans les domaines suivants :

- la revisite des processus de production de la « signalisation ETCS » du constructeur, pour que cette production soit en conformité avec la doctrine de sûreté de fonctionnement ;
- l'utilisation des méthodes formelles pour la validation des fichiers de paramétrage ;
- la revisite des processus d'évaluation dans le domaine des normes de sûreté de fonctionnement ;
- la structuration d'un processus d'exploitation systématisée des précurseurs en conception des systèmes de signalisation ;
- le champ des essais dynamiques et la qualité des comptes rendus de ces essais.

1 - Constats immédiats et engagement de l'enquête

1.1 - Les circonstances de la survitesse

Le dimanche 22 décembre 2019, le TGV 8055 assurant la liaison Paris Montparnasse-Rennes circule sur la voie 1 de la Ligne à Grande Vitesse (LGV) Atlantique en direction de la LGV Bretagne Pays de la Loire (BPL). Il circule à l'heure.

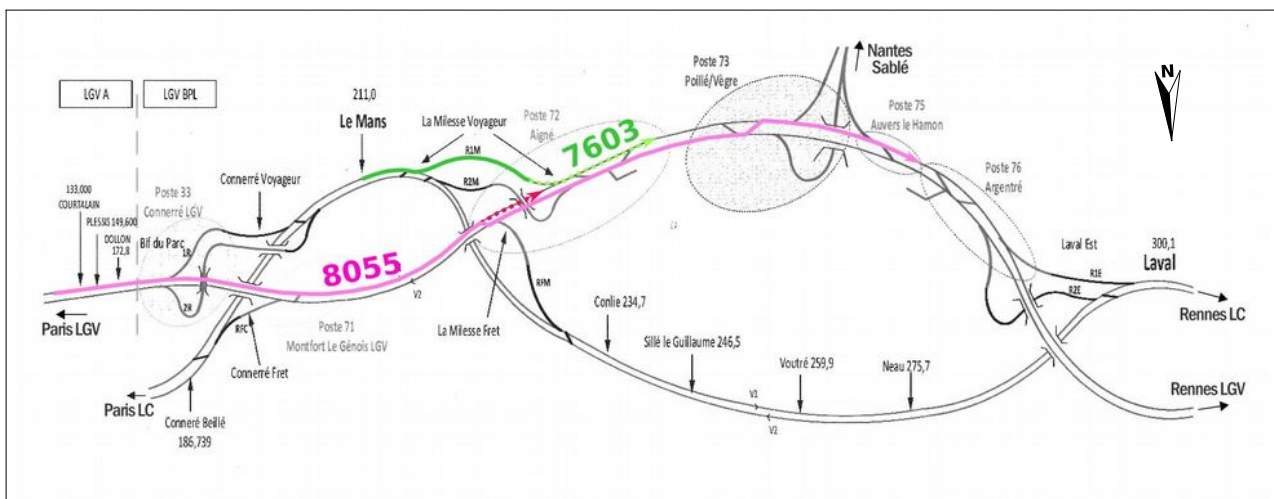
Dans ce même temps, le TGV OUIGO 7603 part du Mans en direction de Rennes. Par suite d'une panne dans son système de transmission radio, il est arrêté automatiquement lors de son entrée sur la voie 1 de la LGV BPL sur le raccordement de La Milesse Voyageur. Cette panne va provoquer l'arrêt prochain du TGV 8055 car il est prévu qu'il suive le TGV OUIGO sur la même voie.

Afin d'éviter cet arrêt, le poste d'aiguillage de la LGV décide de faire passer le TGV 8055 sur la voie 2 contiguë, mettant à profit l'équipement en banalisation¹ de toutes les voies LGV du réseau ferré national.

Vers 16 heures 50, le TGV 8055 utilise les aiguilles 7201-7202 sur le périmètre du poste de La Milesse Fret pour rejoindre la voie 2. Lors du franchissement des aiguillages en déviation, le conducteur remarque une forte sollicitation des suspensions de la motrice, mais sans qu'il estime atteindre une situation de danger.

De son côté, la contrôleuse de la rame de queue ressent une brusquerie inhabituelle dans le confort du train, qui déséquilibre le barman proche d'elle. La contrôleuse en discutera avec le conducteur au terminus du train à Rennes.

Le train poursuit sa route, regagne la voie 1 plus loin et arrive à Rennes sans autre évènement et à l'heure.



Vue 1 : les parcours suivis par le TGV 8055 et le TGV OUIGO 7603

1 Une voie banalisée peut être parcourue indifféremment dans un sens ou dans l'autre, sans mesure ni conséquence particulière, y compris pour la vitesse. Sur une ligne à deux voies banalisées contiguës, la circulation se fait usuellement sur la voie de gauche.

Le lendemain en fin de matinée, le conducteur du TGV 8055 rapporte le ressenti d'inconfort de la contrôleuse et le déséquilibre du barman à sa hiérarchie, en précisant qu'il respectait la vitesse maximale de 170 km/h permise par le système de signalisation ETCS utilisé. La hiérarchie communique alors de manière informelle l'évènement à OPERE, le gestionnaire d'infrastructure (GI) en charge de la maintenance de la LGV BPL, en localisant l'anomalie sur la traversée 7207-7208 car c'est la seule dans le secteur dont la vitesse maximale autorisée est de 170 km/h.

Ne constatant rien sur la traversée mentionnée, le GI investit plus avant cette « bizarrerie ». Il détermine que c'est la traversée 7201-7202 qui a été utilisée. Compte tenu de la géométrie des aiguilles, la vitesse maximale de franchissement aurait dû être de 100 km/h et non de 170 km/h.

1.2 - Les mesures prises après la connaissance de la survitesse

Le GI examine alors les équipements ETCS en relation avec la traversée 7201-7202. Il constate que la traversée 7201-7202 est paramétrée dans le système de télécommunications avec une vitesse maximale de 170 km/h.

Le lundi 23 décembre à partir de 15 heures, des mesures sont prises au poste d'aiguillage pour interdire l'utilisation de la traversée 7201-7202. Cette interdiction est étendue à la traversée 7105-7106 du poste Connerré Fret dont la géométrie est similaire.

Aucun train n'est passé sur la traversée 7201-7202 entre le TGV 8055 et la mise en œuvre des mesures d'interdiction.

Aucun dommage n'a été constaté à la traversée 7201-7202, ni aux rames TGV assurant le train 8055.

1.3 - L'engagement et l'organisation de l'enquête

Au vu des circonstances de cet incident*, le directeur du bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre (BEA-TT) a ouvert, le 6 janvier 2020, une enquête technique en application des articles L. 1621-2 et R. 1621-22 du Code des transports.

Les enquêteurs du BEA-TT ont rencontré les différents personnels directement impliqués dans l'incident ainsi que les représentants des différentes entreprises concernées. Ils se sont également entretenus avec l'Établissement Public de Sécurité Ferroviaire (EPSF) en charge de la délivrance de l'autorisation de mise en exploitation commerciale (AMEC) de la LGV BPL.

Ils ont pu disposer de l'ensemble des pièces et documents nécessaires à leurs analyses, et en particulier des rapports d'enquêtes établis par les divers exploitants.

* Une survitesse sur LGV est un évènement redouté dont les conséquences peuvent être extrêmement graves. Les accidents dramatiques de déraillement de TGV de Saint-Jacques-de-Compostelle le 24 juillet 2013 et de Eckwersheim le 14 novembre 2015 l'ont montré. Ci-après les sites internet permettant de consulter les rapports publics de ces accidents :

https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/pdf/0ADE7F17-84BB-4CBD-9451-C750EDE06170/125127/IF240713200514CIAF.pdf

<http://www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr/rapport-final-r256.html>

2 - Contexte de l'évènement

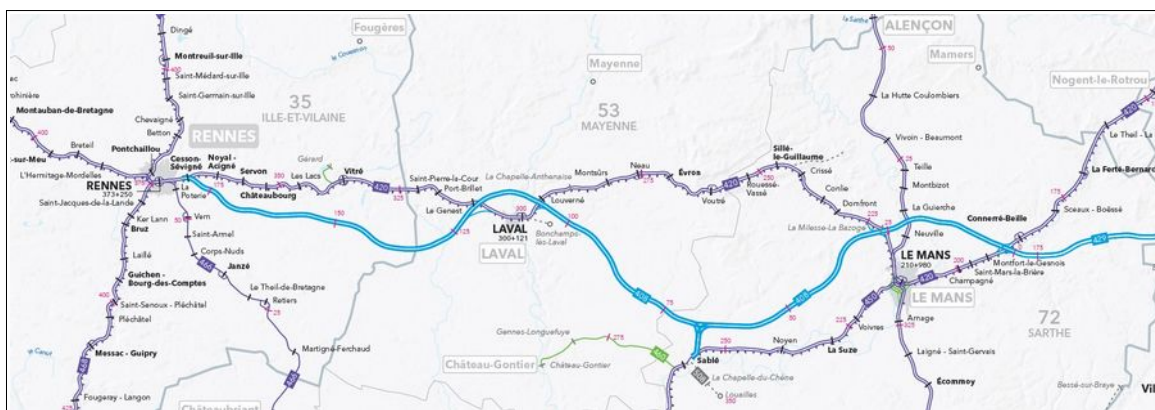
2.1 - La ligne à grande vitesse Bretagne Pays de la Loire

2.1.1 - Description

La ligne à grande vitesse Bretagne-Pays de la Loire assure le prolongement de la branche ouest de la LGV Atlantique (Paris – Le Mans) vers la Bretagne et les Pays de la Loire. Elle a une longueur de 182 km. Elle passe au nord du Mans pour s'incurver vers le sud en direction de Sablé dans le département de la Sarthe. Puis elle remonte vers le nord afin de contourner Laval dans le département de la Mayenne. Elle se termine dans la banlieue rennaise, dans le département d'Ille-et-Vilaine, en se raccordant à la ligne classique Paris-Brest.

Elle est équipée de 2 voies banalisées contiguës sur toute sa longueur. Elle est électrifiée en courant alternatif 25 kV. Elle porte le numéro officiel 408 000.

La régulation est assurée par le coordinateur d'axe Atlantique basé au centre national des opérations de SNCF Réseau à Paris. La liaison radio GSM-R avec les trains, dont la ligne est équipée, met en relation les conducteurs avec le poste d'aiguillage de commande à distance (PCD) situé à Rennes.



Vue 2 : plan de situation

La LGV BPL a été mise en service le dimanche 2 juillet 2017.

La vitesse maximale est de 320 km/h. La ligne est équipée en totalité de deux systèmes accolés de signalisation de cabine : la transmission voie-machine (TVM) et l'European Train Control System (ETCS) au niveau 2. La TVM est la signalisation historique des LGV françaises. ETCS est le système de signalisation ferroviaire de l'Union Européenne. Il sera présenté plus amplement au § 2.4. La détection des trains est assurée par le système classique du circuit de voie pour les deux signalisations.

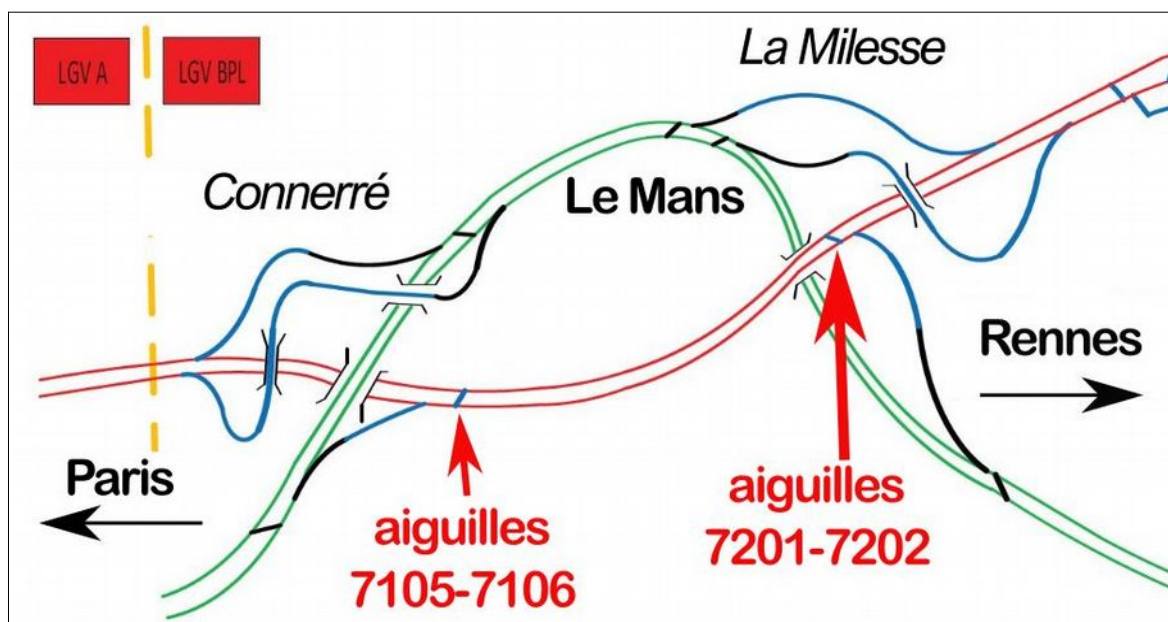
La ligne voit circuler quotidiennement une centaine de trains qui utilisent majoritairement le système de signalisation TVM. Les circulations sous ETCS sont aujourd'hui de l'ordre d'une cinquantaine par semaine, contre une dizaine à l'ouverture. Cette augmentation est le signe positif de l'appropriation croissante de l'ETCS par les exploitants.

2.1.2 - Les raccordements et la particularité du contournement Fret du Mans

Aucune gare n'a été construite sur cette nouvelle ligne. Aussi, des raccordements aux lignes classiques ont été créés afin de desservir les gares des grandes villes du parcours.

Lors des études de projet, il a été décidé d'utiliser cette nouvelle ligne pour dégager le nœud ferroviaire manceau du trafic fret en transit. Cela a nécessité la création de deux raccordements dédiés au fret, l'un à Connerré à l'est du Mans et l'autre à La Milesse à l'ouest du Mans.

Les trains fret empruntant la LGV BPL circulent sur la voie de gauche dans leur sens de circulation, comme habituellement. Pour ce faire, des traversées ont été implantées. Ce sont les aiguilles 7105-7106 au raccordement de Connerré et les aiguilles 7201-7202 au raccordement de La Milesse. Ces nouvelles aiguilles ne répondaient pas à un besoin pour la grande vitesse et les trains fret circulant habituellement à 100 km/h, le modèle des aiguilles utilisées limite à 100 km/h la vitesse pour leur franchissement en déviation. Enfin, la création des itinéraires en continuité de la LGV et prenant ces aiguilles en dévié a été décidée, permettant de disposer ainsi d'une facilité d'exploitation supplémentaire, à l'investissement peu onéreux au regard des voies banalisées et des aiguilles déjà posées. Cette dernière particularité a été actée avant la conclusion du partenariat public-privé (voir paragraphe suivant).



Vue 3 : les raccordements du Mans

2.2 - Un partenariat public-privé

La LGV BPL est le fruit d'un partenariat public-privé (PPP) entre Réseau Ferré de France (RFF) et le groupe EIFFAGE².

Le contrat de partenariat a été signé le 28 juillet 2011 pour la construction et l'entretien de la LGV. Afin d'être rémunéré sur les investissements, EIFFAGE touchera de RFF jusqu'en 2036 des loyers de construction, de maintenance, et de renouvellement le moment venu.

² Le groupe EIFFAGE est né en 1993 de l'union d'entreprises de travaux publics autour d'un noyau constitué par Fougerolle, la Société Auxiliaire d'Entreprise et l'entreprise Eiffel.

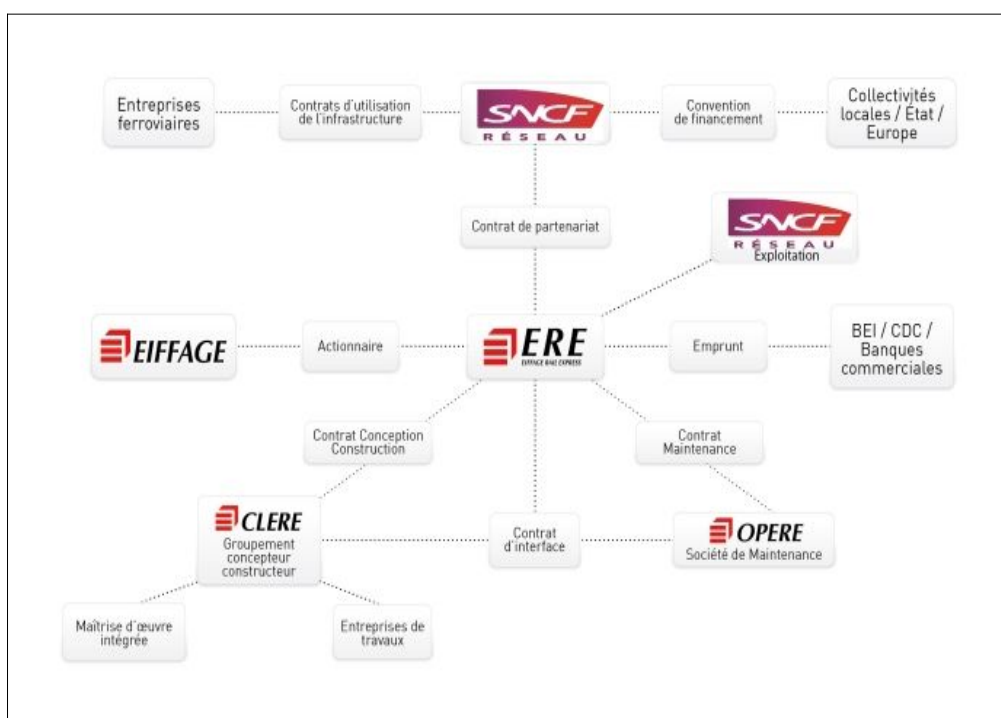
C'est RFF, en l'occurrence SNCF Réseau depuis le 1^{er} janvier 2015, qui exploite la ligne et qui perçoit les péages versés par les entreprises ferroviaires (EF) utilisatrices.

EIFFAGE a confié la réalisation du contrat à sa filiale **ERE**, qui est le maître d'ouvrage de la ligne nouvelle, et qui a donc la charge du financement, de la conception, de la construction, de la maintenance pour une durée de 25 ans.

ERE a confié à **CLERE** la conception et la construction de la ligne nouvelle et de ses raccordements.

ERE a confié à **OPERE** la maintenance de la ligne nouvelle à partir de la mise en service de la ligne et pour la durée restante du contrat de partenariat.

L'organisation mise en œuvre est présentée dans la figure suivante.



vue 4 : organigramme de la LGV BPL

2.3 - Le TGV 8055

Le TGV 8055 relie les gares de Paris-Montparnasse, départ à 15 h 57, et Rennes, arrivée à 17 h 25, sans arrêt intermédiaire.

Il est constitué de deux rames élémentaires couplées en une « unité multiple ». La rame avant est la rame TGV 2N2 Euroduplex de numéro de série 310 382. La rame arrière est la rame TGV 2N2 Euroduplex de numéro de série 310 312. Ce sont des rames à deux niveaux. Construites par Alstom à partir de 2011, elles ont la caractéristique d'être « interoperables », c'est-à-dire d'être aptes à circuler dans plusieurs pays européens aux alimentations électriques et aux signalisations variées.

Chaque rame est constituée de 8 remorques encadrées par 2 motrices. Une rame pèse 399 tonnes pour une longueur de 200 m. La vitesse maximale autorisée est 320 km/h. Les équipements permettent de circuler sous systèmes de signalisation dits KVB, TVM et ETCS.

Les TGV 2N2 du train 8055 sont en livrée « Océane », décoration intérieure et pelliculage dédiés aux rames desservant la côte Ouest par les LGV BPL et SEA.



Vue 5 : TGV l'Océane

2.4 - European Train Control System, le système européen de signalisation ferroviaire

2.4.1 - L'histoire du système

La sécurité du trafic ferroviaire s'appuie sur des systèmes de sécurité. Ces systèmes se sont développés, comme le transport ferroviaire, dans les limites des États. Cela a conduit à des systèmes nationaux, incompatibles entre eux.

L'harmonisation nécessaire à tout trafic international s'est faite sur un écartement commun des rails et des caractéristiques communes pour le matériel remorqué (gabarit, attelage, freins). Le passage des frontières inter-états s'est traduit soit par la nécessité de changer de locomotive, solution pénalisante pour les délais d'acheminement, soit par l'équipement des locomotives avec des systèmes de sécurité compatibles avec la réglementation des réseaux traversés (LZB, indusi, Memor, Memor II+...) solution coûteuse.

L'Union européenne a eu la volonté de lever les obstacles à la circulation des biens dans son marché intérieur en réduisant les temps et les coûts de passage aux frontières et en abaissant les charges d'investissements. Cela a abouti au début des années 1990 au concept d'un système uniforme de signalisation ferroviaire et de contrôle. C'est le système européen de gestion du trafic ferroviaire, en anglais European Rail Traffic

Management System (ERTMS³) qui a été créé. Ce système européen de gestion du trafic ferroviaire est aujourd'hui composé des deux composants suivants :

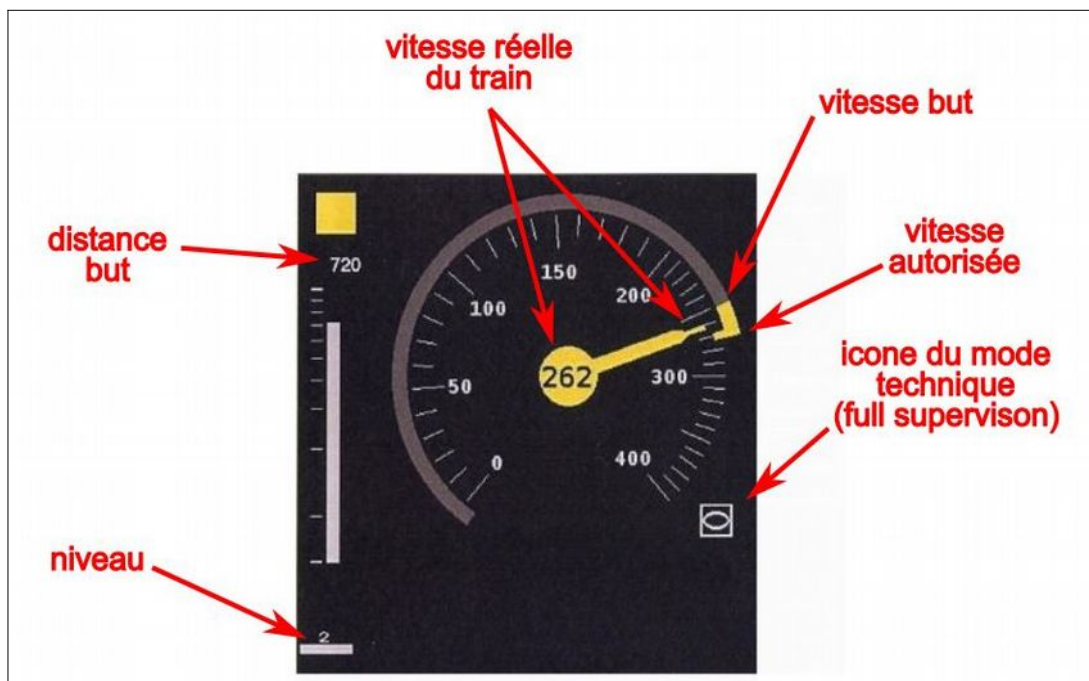
- l' **ETCS** (European Train Control System) ; c'est le système européen de signalisation ferroviaire et de contrôle de vitesse. Il constitue une **signalisation embarquée**. Il vérifie la conformité des vitesses de circulation et arrête le train en cas de conduite inappropriée ;
- le **GSM-R** (Global System for Mobile Communications - Railways) ; c'est le système européen qui sert à communiquer entre le sol et les trains. Il assure la transmission de la voix et des données pour certains niveaux d'ETCS ;

Il est prévu à plus long terme d'ajouter dans ERTMS un troisième élément, l'ETML (European Traffic Management Layer) que l'on peut traduire par la « couche européenne de régulation du trafic » destinée à optimiser le mouvement des trains. Cela suppose une harmonisation de la construction des horaires, de la gestion en temps réel et de la planification des itinéraires, voire de l'information aux clients des gestionnaires du réseau. Aujourd'hui cette harmonisation reste à entamer.

2.4.2 - La conduite d'un train sous système ETCS

L'équipement bord supervise les mouvements du train, c'est-à-dire contrôle sa vitesse et ses déplacements. Le conducteur dispose d'une interface conducteur-machine (en anglais driver machine interface - DMI). Cet afficheur DMI unifié lui présente :

- la vitesse réelle du train ;
- la vitesse maximale autorisée ;
- des informations ponctuelles éventuelles ;
- dans les cas de réduction de vitesse, la « vitesse but » et la « distance but ».



Vue 6 : le DMI

3 Le système ERTMS a été mis au point sur la base de la directive 96/48 de l'UE relative à l'interopérabilité du système ferroviaire transeuropéen à grande vitesse.

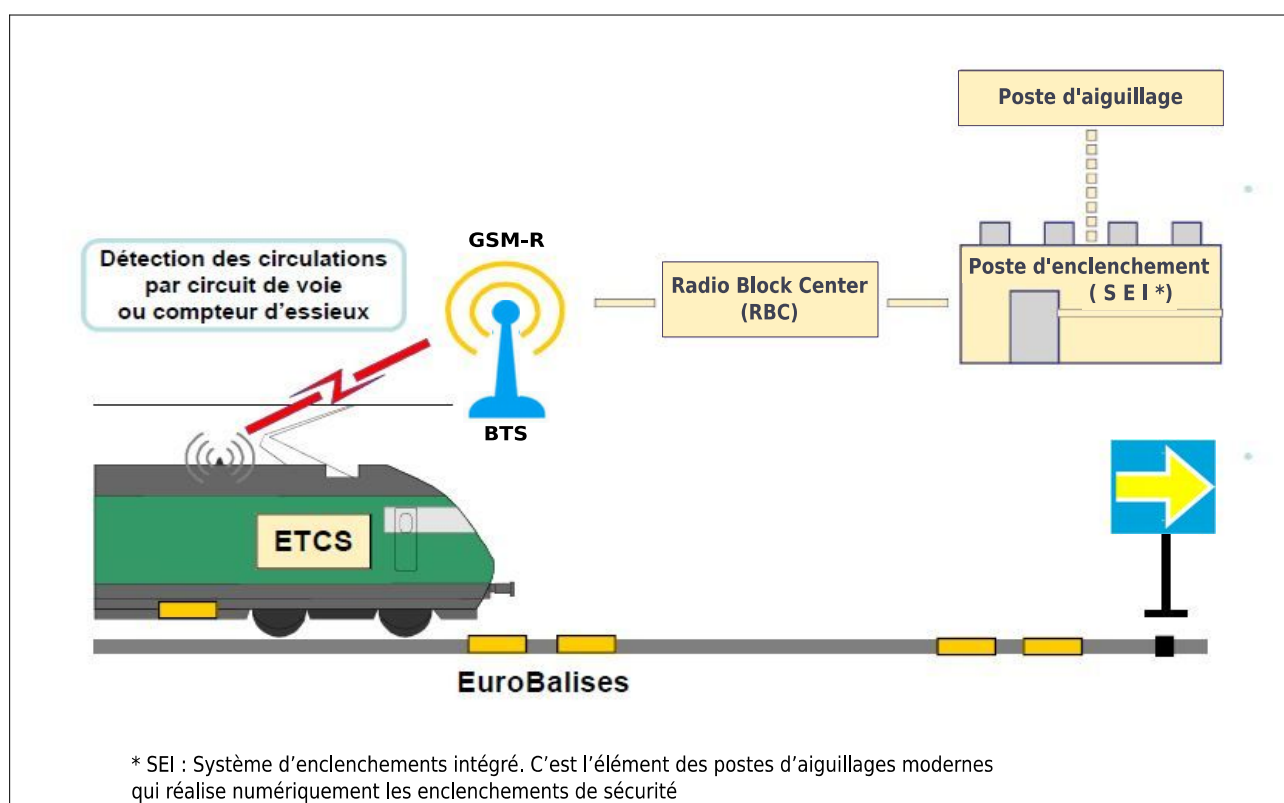
Dans la vue présentant le DMI, le train circule en ETCS niveau 2 et son mode technique est la supervision totale (full supervision - FS). Le mode FS est le mode technique normal sous ETCS, quel que soit le niveau, les autres modes correspondant à des situations dégradées. La vitesse du train est de 262 km/h pour une vitesse autorisée de 270 km/h. La vitesse but est 250 km/h, à observer au plus tard dans 720 m, qui est la distance but.

2.4.3 - Les niveaux d'ETCS

ETCS a été construit avec trois niveaux d'exploitation, les niveaux 1,2 et 3. Nous sommes intéressés par le seul **niveau 2**. C'est ce niveau que nous allons développer,

Le niveau 2 peut être superposé avec un système national, que ce soit une signalisation latérale ou une signalisation embarquée telle que la TVM. Le niveau 2 nécessite l'utilisation d'un système de détection des trains au sol tel que les circuits de voie et un découpage en cantons.

Les données de signalisation ne sont plus transmises par des balises en voie, mais via le réseau GSM-R. Des balises en voie recalent l'odométrie embarquée et déclenchent le dialogue entre le train et le sol : le sol est informé de la position du train et le train de l'autorisation de mouvement actualisée. Techniquement, le réseau GSM-R est constitué de BTS (base transceiver station = station émettrice-réceptrice de base) reliées à des RBC (Radio Block Center = centre de bloc radio) implantés le long de la ligne. Le RBC fonctionne en interface avec le GSM-R et les postes d'enclenchements afin d'autoriser le mouvement des trains et de contrôler leur espacement.



Vue 7 : ETCS niveau 2

Toutes les LGV construites depuis la LGV Est Européenne, celle-ci comprise, sont équipées en ETCS niveau 2 juxtaposées à la TVM. La LGV BPL dispose de quatre RBC pour ses 182 km.

Quant aux deux autres niveaux, ETCS niveau 1 s'appuie sur la signalisation latérale nationale avec laquelle il cohabite. Le niveau 3 est une évolution du niveau 2 en cours de définition dans lequel, via le GSM-R, les trains renseignent le sol en continu de leur position et reçoivent en continu aussi leurs autorisations de mouvement, ce qui contribue à augmenter la fluidité du trafic.

Les conducteurs rencontrés apprécient la conduite sous ETCS. Ce système présente une bonne ergonomie. Elle est même qualifiée d'« excellente » pour les décélérations en affichant dès le début d'une réduction de vitesse la vitesse but, information que ne donne pas la TVM. Les transitions TVM/ETCS et *vice versa* sont fluides.

Les conducteurs sont encore en phase de montée en compétence sur ce produit récent. Certaines situations complexes ont été mises en application seulement sur simulateur de conduite.

2.5 - La conduite à tenir en cas de choc anormal

2.5.1 - Définition du choc anormal

Il y a choc anormal lorsqu'un train subit une accélération, au sens secousse, verticale, longitudinale ou transversale, inhabituelle par son intensité et paraissant provenir de l'infrastructure.

Ce cas entre dans le champ d'application des situations susceptibles de présenter des risques graves ou imminents pour la sécurité, données par l'article 111 « Mesures immédiates en cas de danger » de l'arrêté du 19 mars 2012 fixant les objectifs, les méthodes, les indicateurs de sécurité et la réglementation technique de sécurité et d'interopérabilité applicables sur le réseau ferré national qui prévoit :

« Tout agent témoin ou ayant connaissance d'une situation présentant ou susceptible de présenter un risque grave ou imminent pour la sécurité, tel qu'un train circulant dans des conditions dangereuses, une dérive de matériels roulants, la présence d'un obstacle sur la voie ou le dysfonctionnement d'un passage à niveau, doit d'urgence :

a) Arrêter ou, s'il ne peut le faire lui-même, faire arrêter les trains concernés par les agents les plus à même de le faire, notamment les agents concernés de SNCF Réseau et les agents chargés de la gestion des installations de traction électrique ;

b) Prévenir les agents susceptibles d'être concernés, notamment les agents des établissements ou des passages à niveaux. »

Cette obligation est déclinée par SNCF Réseau dans la documentation opposable et par les entreprises ferroviaires dans leur documentation opérationnelle.

2.5.2 - La procédure vue du gestionnaire d'infrastructure

SNCF Réseau a décliné la procédure du choc anormal dans son référentiel opposable RFN-IG-SE 02 B-00-n° 004 « Arrêt des trains en cas de risque grave ou imminent pour la sécurité. » Lorsqu'une situation de choc anormal est identifiée, il y a risque de déraillement. Le référentiel prévoit pour les lignes à grande vitesse que le train ayant subi

le choc anormal soit arrêté d'urgence et que l'on n'utilise plus l'infrastructure concernée jusqu'à son examen par un agent de maintenance.

2.5.3 - La procédure vue de l'entreprise ferroviaire SNCF Voyageurs

Le référentiel RFN-IG-SE 02 B-00-n° 004 présenté dans le paragraphe précédent est un document « opposable », c'est-à-dire que toutes les entreprises ferroviaires circulant sur le RFN doivent s'y conformer. Ce faisant, il appartient à chaque entreprise ferroviaire d'en assurer une déclinaison à l'usage des diverses catégories de son personnel tenus de l'appliquer.

Chez SNCF Voyageurs, la partie à l'usage des conducteurs est reprise dans le document TT 0516 « *Référentiel conducteur de ligne - Chapitre F Anomalies-Incidents-Accidents* » et la partie pour les agents commerciaux des trains figure dans le document VO 0255 « Manuel Technique à l'usage de l'Agent d'Accompagnement des trains de Voyageurs ».

En cas de choc anormal, ces deux documents prévoient l'arrêt du train en urgence.

3 - Compte rendu des investigations effectuées

3.1 - Les résumés des déclarations et témoignages

Les résumés des témoignages présentés ci-dessous sont établis par les enquêteurs techniques sur la base des déclarations, orales ou écrites, dont ils ont eu connaissance. Ils ne retiennent que les éléments qui paraissent utiles pour éclairer la compréhension et l'analyse des événements et pour formuler des recommandations. Il peut exister des divergences entre les différents témoignages recueillis ou entre ceux-ci et des constats ou analyses présentés par ailleurs.

3.1.1 - *Les déclarations du conducteur du TGV 8055*

Après 13 années de trains classiques, le conducteur accède en 2011 à la conduite des TGV. En 2017 il est formé à la conduite sous ETCS niveau 2 pour l'ouverture de la ligne BPL. Il ne connaît pas ETCS niveau 1.

Le dimanche 22 décembre, il assure le TGV 8055. Parti de Paris à 15 h 57, le train est sans arrêt jusqu'à Rennes, avec une arrivée prévue à 17 h 25. Le conducteur est seul en cabine. Avant Le Mans, le régulateur lui annonce qu'un train devant lui est arrêté et que son train va être dirigé vers la voie 2 afin d'éviter un arrêt. Le DMI lui présente alors une séquence vitesse-but de 170 km/h.

Après avoir abaissé la vitesse du train à 165 km/h, il laisse le train sur l'erre et franchit les aiguilles en position déviée en direction de la voie 2. Le conducteur ressent de l'élasticité comme avec un train fret : « c'est comme une masse trop élevée du train sur l'aiguille. » La masse d'un TGV est toujours dans les normes car pratiquement constante. En cas de voyageurs excédentaires dans un TGV, le contrôleur en avise le conducteur afin de réduire la vitesse. L'absence d'information du contrôleur indique donc que la masse est normale. Et la vitesse est bonne car le train respecte la consigne affichée au DMI. Par réflexe, il actionne brièvement le frein rhéostatique.

Le conducteur avait déjà ressenti cette sensation par le passé. Rien à l'instant ne l'alarme. Il ne se sent pas en danger.

Dans le doute, il va utiliser le retour sur voie 1 pour se tester en réétalonnant ses sensations et en réduisant la vitesse.

Lors du retour sur voie 1 par une traversée suivante, la consigne de vitesse affichée au DMI est à nouveau de 170 km/h. Le conducteur prend les aiguilles en dévié à 150 km/h pour une vitesse autorisée de 170. Les sensations sont comme d'habitude.

De même lors de la sortie de la LGV pour regagner la ligne classique par une aiguille limitée à 160 km/h, tout se passe bien.

À Rennes au hasard des chemins de sortie de la gare, la contrôlease l'interpelle sur le ton de la plaisanterie : « tu as pris un virage un peu vite ! ». Elle lui signale que le barman avait chuté. Ce à quoi le conducteur répond que, en cas de problème, la contrôlease peut l'appeler et, au besoin, arrêter le train et qu'il signalera l'évènement.

Le lendemain lundi 23 décembre, il signale l'évènement à son supérieur hiérarchique, ainsi que l'échange avec la contrôlease. Il n'y a pas eu de choc. La charge du train n'était pas anormale. La vitesse était la bonne car elle était conforme à la consigne affichée par le DMI. En conséquence, le constat est basé exclusivement sur ses sensations. Son supérieur l'informe qu'il en parlera au mainteneur.

L'objectif affiché de son signallement est d'obtenir un retour d'un autre conducteur pour lui permettre de « recalibrer ses curseurs. » D'ailleurs, il aurait signalé l'évènement même sans échange avec la contrôleuse.

A-t-il songé un moment devoir appliquer la fiche 11-02 « Choc ou mouvement anormal » de son référentiel conducteur ? (Voir paragraphe 2.5.2) La réponse est négative. Il n'y a pas eu de choc. Quant au mouvement anormal, il connaît la sensation pour l'avoir déjà vécue sur un affaissement de voie à la suite d'intempéries. Il avait alors ressenti un « claquement de la suspension. » À La Milesse, il n'y a pas eu de danger car il s'est toujours senti en sécurité.

3.1.2 - Les déclarations du chef de bord du TGV 8055

Le chef de bord est le contrôleur titulaire du train. Les éventuels autres contrôleurs présents sur le train sont ses assistants. Localisé en rame de tête, il n'a pas identifié de situation particulière sur le train 8055 du dimanche 22 décembre 2019.

Il n'a jamais vécu une situation de danger. Il connaît la procédure et l'obligation, alors, d'arrêter le train. Il a déjà été confronté à des projections de neige durcie en hiver avec réduction de vitesse.

3.1.3 - Les déclarations de la contrôleuse de la rame arrière du TGV 8055

La contrôleuse est seule dans la rame arrière du TGV 8055. Au moment de la déviation sur la LGV, elle vient de quitter la voiture 3 et entre en voiture 4, voiture-bar à l'étage. Elle est surprise par l'accélération et doit se rattraper à une lisse afin d'éviter de chuter. Sur le moment, elle pense que « le conducteur a loupé son virage ». C'est un mauvais ressenti et elle s'interroge sur ce qu'il se passe.

Le barman est tombé non loin d'elle, sans blessure. Il était en plein service.

Puis elle a immédiatement exécuté une ronde pour d'éventuels constats. Elle a parcouru toutes les voitures, haut et bas. Les voyageurs n'ont rien signalé.

Parvenue au terminus à Rennes, compte tenu de son doute, elle a échangé sur ce ressenti inhabituel avec le conducteur. Celui-ci indique que tout était conforme à ses consignes, indicateurs et documents ; il fera toutefois un signallement.

La contrôleuse connaît les fiches F2.11 et F2.12 de la VO 0255 sur le choc anormal. Ici, elle a ressenti une chose inhabituelle, étonnante, mais pas au-delà.

Dans toute sa carrière, elle n'a jamais fait de signallement de choc anormal ou d'instabilité de voiture en ligne. Elle n'a jamais fait arrêter un train en circulation (sauf dans le cadre de la procédure de départ avec voyageurs en surnombre). Elle s'est déjà retrouvée assise sur les genoux d'un voyageur ou bien sur un siège vide. Elle connaît donc les accélérations transversales.

À aucun moment, elle ne s'est sentie en danger.

3.1.4 - Les déclarations du supérieur hiérarchique du conducteur

Embauché à la SNCF en 2007, il devient encadrant d'agents de conduite en 2015 pour les trains express régionaux. En 2017, il devient encadrant et formateur de conducteurs TGV. Il participe activement aux formations et à la connaissance de ligne préalables à la conduite sur la ligne nouvelle BPL.

Aujourd'hui, il encadre une équipe de 25 à 30 conducteurs, tous habilités au TGV. Ces conducteurs vont de Brest et Quimper à Lille, Strasbourg, Lyon et Marseille. Son équipe est formée à ETCS niveau 2, mais pas au niveau 1.

Lundi 23 décembre 2019 dans la matinée, il est à son bureau. Le conducteur du TGV 8055 de la veille vient lui signaler un ressenti anormal sur une traversée voie 1 - voie 2 au poste d'Aigné⁴ sur la LGV BPL, qu'il a prise à une vitesse inférieure à 170 km/h, comme indiqué par le DMI. La contrôleuse du train a également signalé au conducteur un mouvement anormal vers Aigné dans cette même zone.

L'encadrant fait remarquer aux enquêteurs du BEA-TT la binarité des mesures offertes aux conducteurs par la F11-02 « Choc ou mouvement anormal, heurt-Présomption d'un danger sur la voie parcourue » du référentiel de conduite. Il n'y a aucune graduation intermédiaire entre l'arrêt immédiat et aucune mesure ou signalement.

Sur l'instant, il pense à la traversée 7207-7208. Selon sa connaissance des vitesses limites et sa pratique des raccordements avec la ligne classique, c'est la seule du secteur dont la vitesse de franchissement est celle affichée par le DMI. Il sait que la vitesse de 170 km/h n'est pas possible sur la traversée 7201-7202.

Environ un mois auparavant, l'encadrant avait conçu et participé à un exercice pratique avec OPERE, le mainteneur. Il connaît donc les personnes et leurs adresses électroniques. Il décide de l'envoi d'un courriel informel à OPERE pour signaler l'inconfort sur la traversée. En effet, le conducteur a réagi sur son ressenti lié à son expérience. OPERE lui répond qu'il va mener des investigations sur un potentiel défaut de nivellement.

En fin d'après-midi, SNCF Réseau l'informe que le train 8055 a circulé sur la traversée 7201-7202 et non sur la traversée 7207-7208. Il y a donc une survitesse de 65 km/h.

Dans la soirée, la rame du 8055 est immobilisée et les données ATESS sont extraites. Elles confirment la vitesse de 165 km/h au poste d'Aigné.

L'encadrant évoque le fait très fortuit de la remontée du signalement et de la découverte de cet incident. C'est grâce aux bonnes relations établies avec OPERE dans le cadre de formations croisées que la survitesse a été découverte.

Concernant les sensations du conducteur, la motrice est équipée d'une suspension mécanique alors que les remorques à voyageurs sont équipées d'une suspension pneumatique. La suspension mécanique est moins sensible aux survitesses en courbe. Les mouvements latéraux sont plus notables dans les véhicules à suspension pneumatique. Cela explique les différences de sensation du conducteur et de la contrôleuse de la rame arrière.

3.1.5 - Les déclarations des agents du poste de commande et de contrôle à distance

Le poste de commande et de contrôle à distance (PCD) assure la commande et le contrôle des aiguilles et des signaux de la LGV BPL, ainsi que de certaines aiguilles et certains signaux de la gare de Rennes.

La tenue des emplois au PCD de Rennes en relation avec la LGV BPL requiert la connaissance d'ETCS niveau 1 et niveau 2.

4 Les conducteurs de LGV sont renseignés du nom des postes de signalisation qu'ils rencontrent.

3.1.5.1 - L'agent circulation

Embauché en 2015 à la SNCF à la Direction de la Circulation Ferroviaire, il est aujourd'hui agent de maîtrise chez SNCF Réseau. Depuis 2018, il est agent de remplacement au PCD de Rennes.

Le dimanche 22 décembre 2019, il est de service en soirée 13 h - 21 h. Il est en pause pour 40 minutes, entre 16 h et 17 h. Il a remis le service à l'agent « pauseur » et n'est donc plus en responsabilité. Il est dans la kitchenette attenante à la cabine lorsqu'il entend que le train 7603 est arrêté par un « Train Trip » (sous ETCS, un « train trip » est un freinage d'urgence enclenché automatiquement à l'occasion de certains événements, par exemple le franchissement d'un point but dont la vitesse but associée est égale à zéro, et conduisant à l'arrêt du train). Il revient en salle pour prendre les communications afin de soulager son collègue.

D'un commun accord, il est décidé de passer le train 8055 en voie banalisée pour contourner la voie rendue indisponible suite à l'arrêt du train 7603. Le TGV va être dirigé sur la voie 2, voie sur laquelle les trains circulent habituellement dans l'autre sens. L'agent circulation en informe le coordinateur d'axe Atlantique, qui coordonne la circulation des trains sur les LGV Atlantique, Bretagne-Pays de la Loire et Sud Europe Atlantique. Il referme le signal de protection des aiguilles de la traversée, la zone d'approche⁵ étant encore libre. Puis il avise le conducteur du 8055 que son train va être passé en banalisation. Le retour voie 1 se fera plus loin au poste 73 à proximité de la sortie vers Sablé sur Sarthe.

Pendant cette séquence, le pauseur est toujours en procédure pour régler la situation du train 7603. À la clôture de cette procédure, le pauseur cède le service à l'agent circulation, qui revient en responsabilité.

À aucun moment, le conducteur du TGV 8055 n'a fait part d'un quelconque avis, tant lors de son passage de voie 1 vers voie 2 que lors de son retour voie 1.

Pour terminer, le constat est que le TGV 8055 est arrivé à Rennes exactement à l'heure : « *Nous étions contents. Le choix du passage en banalisation était la bonne décision au bon moment.* »

Au sujet de l'usage de la banalisation des trains, l'agent-circulation ne prend pas en compte l'éventuel temps perdu sur les aiguilles en dévié consécutivement à la réduction de vitesse. D'ailleurs il ne connaît pas la vitesse de franchissement en dévié des aiguilles. Il s'interroge seulement sur les gains et pertes de temps, et donc la pertinence finale.

L'usage de la banalisation n'est pas fréquent, bien qu'aisé. La banalisation est plutôt utilisée au poste 80 pour « vider » la gare de Rennes. Et son utilisation sur le raccordement de La Milesse, le dimanche 22 décembre 2019, était la première à sa connaissance depuis la mise en service de la ligne en situation d'incident. Le trafic de ce jour de mouvement social était celui d'un dimanche ordinaire.

Concernant le choc anormal, l'agent circulation n'a jamais vécu de cas où un conducteur avise d'un choc anormal, tant sur ligne classique que sur LGV.

Par ailleurs, il n'a jamais vu de train fret sur la LGV BPL. Il a vu des TGV circuler sur les raccordements, y compris sur les deux raccordements Fret, pour des TGV détournés par ligne classique.

5 La zone d'approche est un dispositif technique qui empêche le poste d'aiguillage de modifier un itinéraire alors qu'un train est en approche des aiguillages.

3.1.5.2 - Le « pauseur »

Il a rejoint la SNCF à la Direction de la Circulation Ferroviaire en 2014. Aujourd'hui il est agent de maîtrise chez SNCF Réseau. Depuis octobre 2018, il occupe un emploi de « pauseur », c'est-à-dire qu'il remplace à tour de rôle les agents du poste pour leur permettre de prendre une pause au cours de la journée de service, y compris les agents intervenant hors LGV.

Lorsqu'un incident survient, les pauses à venir sont figées et le pauseur intervient alors en qualité d'« aiguilleur renfort. »

Le dimanche 22 décembre 2019, il assure la pause de l'agent circulation de la LGV. Le TGV OUIGO 7603 partant du Mans à 16 h 29 vers Rennes est arrêté sur le raccordement La Milesse Voyageurs suite à un Train Trip. Les agents présents au PCD estiment que le retour à la situation normale requerra beaucoup de temps. Il y a une incompatibilité avec le TGV Paris – Rennes 8055.

Son collègue en pause et lui ferment les signaux pour bloquer la commande automatique des itinéraires. Le pauseur ne saurait dire qui, de son collègue ou lui, fait cette action.

Le pauseur se focalise ensuite sur la procédure de remise en marche du TGV OUIGO 7603, laissant à son collègue les interventions nécessaires pour faire passer les autres trains.

Ainsi, il n'entrera pas en communication avec le conducteur du TGV 8055 et ne suivra pas la circulation par la voie 2. Comme son collègue, il a été satisfait que le TGV 8055 soit arrivé à Rennes à l'heure.

Le pauseur déclare avoir déjà fait circuler des trains en voie banalisée, en petit nombre. Selon les circonstances, il était possible que d'autres trains aient été dirigés sur la traversée 7201-7202. Il intègre la perte de temps sur les aiguilles à 170 km/h. Le train 8055 allait perdre du temps, mais moins que s'il avait été laissé voie 1 à attendre derrière le train 7603.

Comme son collègue agent circulation, il n'a jamais reçu de message d'un conducteur l'avisant d'un choc anormal. Pareillement pour les trains fret sur le contournement du Mans, il n'en a jamais vu.

3.1.6 - Le témoignage du mainteneur OPERE

L'événement est signalé à OPERE le lendemain de sa survenue. Le lundi 23 décembre 2019 à 11 h 38, le centre de supervision Maintenance reçoit un courriel d'un dirigeant d'agents de conduite signalant un mouvement inconfortable ressenti par la contrôleuse du TGV 8055.

Vers 14 h, une vérification de la géométrie de la communication mise en cause est réalisée. Elle ne révèle rien d'anormal.

Surpris par l'écart entre le signalement et le constat réalisé, le mainteneur effectue une recherche des itinéraires empruntés par le TGV 8055. Le train n'est pas passé sur la traversée 7207-7208, mais sur la traversée 7201-7202. Cette dernière traversée est constituée d'aiguilles à tangente 1/21° à cœur mobile. La lettre d'homologation de ce composant stipule une vitesse maximale de 110 km/h en dévié.

OPERE mène une vérification complémentaire sur les plans techniques de signalisation du poste 72. Les plans techniques de signalisation sont constitués de l'ensemble des documents définissant la signalisation et les installations mises en œuvre pour satisfaire à

un programme d'exploitation posé. L'itinéraire est prévu être circulé à 100 km/h maximum.

En conséquence de quoi, la vitesse sur la traversée de la communication aurait dû être 100 km/h maximum, et non 170 km/h. OPERE met en œuvre alors les mesures conservatoires interdisant l'usage des traversées 7201-7202 et 7105-7106. En effet, cette dernière présente la même configuration que la traversée 7201-7202 et il est possible que le problème soit également présent sur cette dernière.

Concernant le système RBC (voir § 2.4.3), à l'examen des traces, il est confirmé la circulation du TGV à la vitesse de 165 km/h sur la traversée. À l'aide de l'outil de paramétrage des limitations de vitesse, OPERE constate dans le RBC 1, celui qui commande le contournement du Mans, une erreur de paramétrage. Cette erreur n'étant pas présente sur la bifurcation de Connerré, la traversée 7105-7106 est sortie du périmètre des mesures conservatoires.

OPERE indique que l'itinéraire en cause est très rarement emprunté. Il n'a jamais fait l'objet d'un signalement. Selon toute vraisemblance, il s'agit du premier emprunt de cette communication par un train ETCS depuis l'ouverture de la LGV BPL. L'erreur de paramétrage n'affecte pas le système de signalisation TVM.

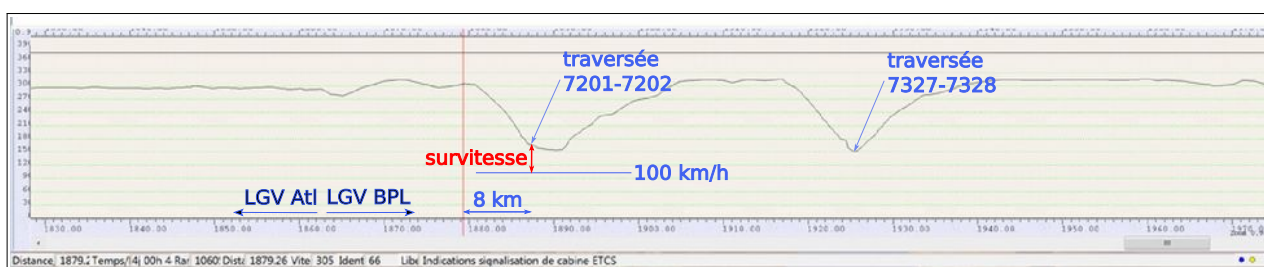
Aucun train n'a circulé sur cette communication entre le train 8055 et sa découverte par le mainteneur.

3.2 - L'examen des données de l'enregistreur de bord du train

L'examen des données enregistrées du TGV 8055 permet de préciser le témoignage du conducteur. La vue suivante présente un extrait des données issues de l'enregistrement ATESS de la rame TGV Océanne 310 382.

Le train circule à 300 km/h sur la LGV Atlantique, et monte à 320 km/h à son entrée sur la LGV BPL.

Puis la vitesse décroît linéairement sur 8 km jusqu'à une valeur de 165 km/h. En effet, le DMI affiche une vitesse but de 170 km/h que le conducteur respecte. Le train est alors sur la traversée 7201-7202.



Vue 8 : Extrait des données enregistrées par le dispositif ATESS de la rame TGV Océanne 310 382

Ensuite, la vitesse du train reste constante. Le train roule alors sur l'erre.

Puis la vitesse remonte à 320 km/h. Ensuite, la vitesse redescend à 150 km/h pour le retour sur la voie 1 par la traversée 7327-7328. Ensuite le train poursuit sa route à 320 km/h.

Le listing des données enregistrées montre que les actions du conducteur ont été conformes aux prescriptions et sont cohérentes avec ses déclarations.

3.3 - Les risques encourus lors de la survitesse

3.3.1 - Le renversement par survitesse

Le bureau d'études en charge du matériel roulant de SNCF Voyageurs a étudié l'impact de la survitesse du TGV 8055 au franchissement à 165 km/h de la traversée 7201-7202 sur le matériel et la voie selon la norme EN 14363 qui est la norme utilisée pour homologuer le matériel roulant ferroviaire. Il a évalué le critère de renversement, les efforts dans la voie, les accélérations ressenties en caisse et les efforts sur les liaisons caisse-bogie. Il en ressort que :

- le critère de renversement est de 0,2 à 100 km/h et il est monté ponctuellement à 0,7 en bogie arrière pour la vitesse de 165 km/h. La norme EN 14363 préconise une valeur inférieure à 1 pour le critère de renversement. Le risque de renversement n'a pas été atteint ;
- l'effort dans la voie a dépassé ponctuellement et brièvement la limite préconisée par la norme EN 14363. Compte tenu des marges existantes, il est peu probable que les aiguilles aient été endommagées ;
- les butées transversales des suspensions de caisse ont été fortement sollicitées lors de la circulation, mais cela n'est pas de nature à les avoir dégradées ;
- l'accélération transversale en caisse a été multipliée par 4 de façon transitoire, affectant le confort des voyageurs, mais sans risque significatif pour la sécurité. Elle présente tout de même, à cause de la variation rapide de l'insuffisance de dévers ressentie dans le train, un aspect fort désagréable et surprenant pour les passagers et le personnel de bord.

Pour conclure, la survitesse à 165 km/h du TGV 8055 sur la traversée 7201-7202 s'est faite sans risque de sortie de voie et sans conséquence pour le matériel roulant et pour l'infrastructure.

3.3.2 - Le choc anormal

Identifier une situation de choc anormal repose sur l'appréciation individuelle de l'intensité de la secousse. Cette appréciation s'appuie sur l'expérience déjà vécue des opérateurs. Selon que l'on aura, déjà ou pas, été confronté à une situation inhabituelle, la réaction pourra être différente.

Selon les prescriptions du gestionnaire d'infrastructure, la procédure est binaire :

- on est en « choc anormal », alors on avise et on arrête le train ;
- on n'est pas en choc anormal, alors on ne fait rien, en particulier on ne signale pas.

Si aucun choc anormal n'est ressenti, cas du TGV 8055 le 22 décembre, le conducteur poursuit sa route et ne lance aucun avis. Cela évite la surprotection afin de limiter l'impact sur la régularité de la circulation des trains.

Si l'on est en cas de danger grave et imminent, la première action doit être de protéger afin d'éviter l'accident, éventuellement le suraccident. Si l'on est en situation ne nécessitant qu'une alerte, la situation doit s'apprécier au cas par cas.

Les opérationnels rencontrés de l'EF SNCF Voyageurs regrettent cette binarité dans les choix offerts par les règles opérationnelles. Ils souhaiteraient disposer d'un niveau intermédiaire permettant d'émettre des signalements sans avoir l'obligation de l'arrêt.

Le service de la traction de SNCF Voyageurs a déjà travaillé avec SNCF Réseau sur la création d'un niveau intermédiaire pour l'avis suite à choc ou mouvement anormal

ressenti par un conducteur. Il est apparu que l'appréciation de ce niveau intermédiaire était subjective, difficile et fonction de la sensibilité du conducteur. Cela avait conduit au *statu quo*.

Pour conclure, la procédure « choc anormal » repose sur une appréciation humaine. Elle est le résultat de travaux GI - EF et répond à un double objectif qui est de prendre les mesures en cas de danger avéré, mais aussi d'éviter les surprotections. Si l'on devait travailler à nouveau sur le thème, il est probable que l'on resterait sur une appréciation subjective avec des valeurs difficiles à calibrer.

Aucun des éléments de la survitesse du 22 décembre 2019 ne paraît devoir faire évoluer cette procédure. En effet, étant donné que l'équipage du TGV 8055 ne s'est jamais senti en danger, il n'y avait pas lieu d'effectuer une mise en protection. Cependant, c'est un signalement fortuit qui a conduit à la présente enquête. Aussi, les signalements « intermédiaires » doivent continuer à être reçus avec bienveillance.

3.4 - Les facteurs de risque spécifiques à la nouvelle infrastructure ferroviaire

La LGV BPL a la particularité majeure d'avoir été conçue pour accueillir des trains de fret sur le contournement du Mans, en cohabitation avec des TGV circulant à 320 km/h. Elle dispose d'autres particularités également facteurs de risques, exposés ci-après.

3.4.1 - Les multiples types d'aiguilles utilisées

Trois types différents d'aiguilles ont été utilisés pour la construction, tous à cœur mobile pour autoriser une vitesse supérieure à 220 km/h en voie directe.

- l'aiguille à 230 km/h :
C'est l'aiguille pour les bifurcations sur LGV vers les lignes classiques. Elle présente une tangente de $1/65^{\circ}$. La LGV BPL dispose de sept exemplaires, principalement installés vers Nantes et pour la desserte de Laval.
- l'aiguille à 170 km/h :
C'est l'aiguille classique de LGV. Sa tangente est $1/46^{\circ}$. Elle est utilisée pour les changements de voie, ainsi que pour les zones de gare et entrée-sorties intermédiaires.
- l'aiguille à 100 km/h :
C'est un appareil de voie particulier sur LGV, à tangente $1/21^{\circ}$. Il est franchissable à 320 km/h en voie directe et à 100 km/h en voie déviée.

Le contournement du Mans a été conçu pour être concomitamment circulé par des trains de fret. En Europe, les trains de fret circulent dans leur très grande majorité à 100 km/h maximum, d'où le choix fait par le constructeur-concepteur d'utiliser des aiguilles à vitesse limite 100 km/h en déviation, possibilité non prohibée par le référentiel.

Des diverses personnes rencontrées par les enquêteurs du BEA-TT, aucune n'a le souvenir d'avoir vu un train fret sur la LGV BPL depuis son ouverture. Des TGV ont circulé sur les deux raccordements Fret pour des détournements par ligne classique. Des informations recueillies, ils circulaient sous TVM. S'ils avaient été sous ETCS niveau 2, s'agissant d'un détournement empruntant la ligne classique, la vitesse commandée au conducteur aurait été de 100 km/h car c'est la vitesse maximale sur les raccordements.

Cela explique l'absence de signallement d'un défaut de la signalisation sur les aiguilles à 100 km/h avant le passage du TGV 8055 le 22 décembre 2019.

Un quatrième type d'aiguille a été utilisé en extrémité de la LGV côté ouest, à vitesse 80 km/h en dévié, afin de fluidifier les échanges entre Rennes et les deux lignes vers Paris. Ce type d'aiguille est sans connexion avec le présent incident.

3.4.2 - Les multiples systèmes de signalisation utilisés

La TVM et ETCS niveau 2 ont été installés sur la totalité de la ligne. C'est l'installation faite sur la LGV Est-Européenne (LGV EE) qui a servi de référence pour permettre une vitesse commerciale de 320 km/h.

En parallèle, compte tenu de l'équipement progressif en ETCS des locomotives pour trains de fret, le contournement du Mans a été équipé avec ETCS niveau 1 pour absorber le maximum de trains fret. À noter que dans ce cas particulier d'équipement ETCS niveau 1, la signalisation latérale est absente par dérogation.

Ainsi, la LGV BPL est équipée entre Connerré et La Milesse de trois systèmes de signalisation, la TVM, ETCS niveau 1 et ETCS niveau 2. Techniquement, ce sont trois systèmes accolés et sans interaction. Les systèmes ETCS, niveau 1 ou niveau 2, ne prennent aucune information dans le système TVM.

3.4.3 - Les multiples acteurs de la construction de la LGV BPL

Le périmètre des investigations se limite aux seules entreprises ayant un lien avec la réalisation du système de signalisation. Ces acteurs sont :

➤ ERE

ERE a assuré la maîtrise d'ouvrage de la conception-réalisation de la ligne. ERE a confié la conception-construction de la ligne à CLERE, société du groupe EIFFAGE.

➤ CLERE

CLERE a assuré la maîtrise d'œuvre intégrée pour la prestation de conception-réalisation. CLERE a été créée pour la conception de la LGV BPL, puis pour le service après-vente pendant les 3 ans suivant la mise en service. CLERE reste « active » pour la garantie décennale de l'ouvrage. Elle est structurée en groupement d'intérêt économique (GIE) autour d'entreprises du groupe EIFFAGE partenaires de la construction.

Parmi les tâches de maîtrise d'œuvre intégrée, CLERE a assuré la supervision des essais.

➤ OPERE

Par délégation de ERE titulaire d'un agrément de gestionnaire d'infrastructure délivré par l'EPSF, c'est OPERE qui réalise la maintenance de la ligne.

➤ L'Établissement Public de Sécurité Ferroviaire (EPSF)

Une nouvelle infrastructure ne peut être exploitée qu'après que l'EPSF a délivré une Autorisation de Mise en Exploitation Commerciale (AMEC). Ce sont le décret n° 2006-1279 relatif à la sécurité des circulations ferroviaires et à l'interopérabilité du système ferroviaire et l'arrêté AMEC du 23 juillet 2012 qui en fixent les modalités. Aux fins de délivrance de l'AMEC, l'EPSF étudie le dossier de sécurité fourni par le demandeur de l'AMEC, ici ERE.

Depuis le décret n° 2019-525 relatif à la sécurité et à l'interopérabilité du système ferroviaire et l'arrêté du 12 juillet 2019 relatif au contenu et aux modalités d'instruction des autorisations de mise en service des installations fixes sur le système ferroviaire, qui sont tous deux postérieurs à la livraison de la LGV BPL, l'AMEC est remplacée par une Autorisation de Mise en Service (AMS).

➤ **HITACHI Rail STS**

HITACHI Rail STS, anciennement Ansaldo STS, anciennement CSEE, est intervenu comme prestataire de CLERE pour la fourniture de la signalisation.

Parmi ses diverses prestations, HITACHI Rail STS a assuré la réalisation des analyses de sécurité et la production de la partie « Système de signalisation » du dossier de sécurité du projet LGV BPL pour l'obtention de l'AMEC auprès de l'EPSF.

➤ **SNCF Réseau**

La construction de cette nouvelle ligne a été réalisée dans le cadre d'un partenariat public-privé. SNCF Réseau, RFF à l'époque, a confié à ERE la maîtrise d'ouvrage de la conception-réalisation de cette nouvelle ligne. Cette délégation comprenait les travaux pour l'obtention de l'AMEC.

➤ **CERTIFER**

Certif er a fourni la mission de contrôle de « deuxième regard » dite « d'évaluation » qui sera présentée plus en détail en § 3.5.3. Cette prestation est assurée par des experts qui interviennent à toutes les étapes du projet.

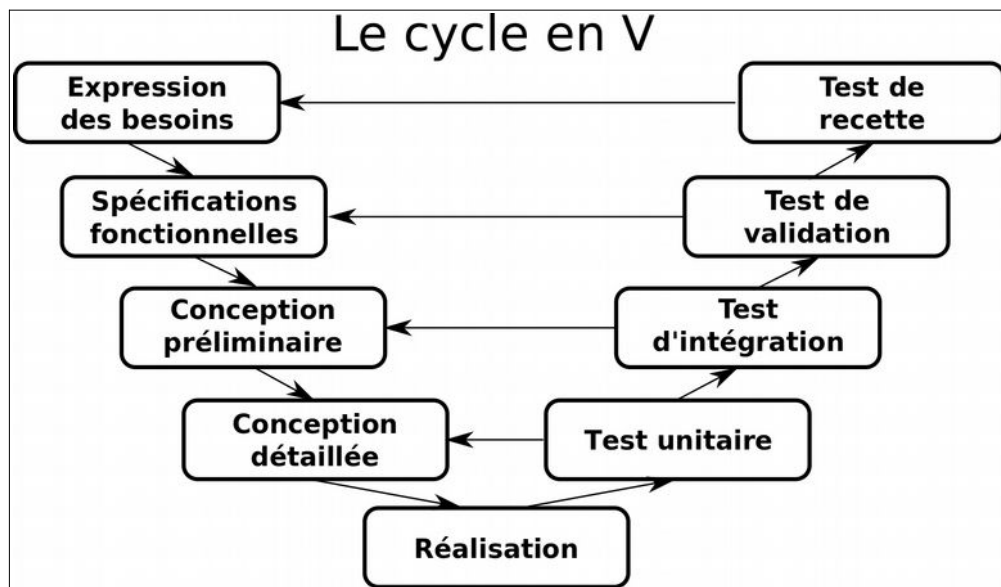
3.5 - Une organisation pour la réalisation d'un projet à haut niveau de sécurité

3.5.1 - Une organisation pour couvrir les risques : le « cycle en V »

La construction d'une nouvelle infrastructure ferroviaire est un projet qui suppose un ensemble de tâches s'enchaînant les unes aux autres selon un ordre précis. Le concept du « cycle en V » a théorisé cet ordre, incluant des contrôles intermédiaires et finaux afin d'atteindre l'objectif d'un niveau maximal de qualité et de sécurité.

Le terme de « cycle en V » provient de la forme en V que prend la représentation graphique de ces opérations tel que nous le voyons sur la vue 9.

Le cycle en V est un modèle d'organisation des activités d'un projet qui se caractérise par un flux d'activités descendant qui définit et détaille le produit jusqu'à sa réalisation, et un flux ascendant, qui assemble le produit en validant sa qualité. Le cycle met en regard chaque phase de définition successive avec sa phase de validation correspondante, lui conférant ainsi sa forme en V.



Vue 9 : le cycle en V

Les grandes étapes du cycle en V sont :

- Une première série d'étapes, le flux descendant appelé généralement « développement », qui vise à détailler le produit jusqu'à sa fabrication, composant par composant. Cette phase comprend l'expression des besoins, l'analyse, la conception, puis la mise en œuvre. Pour un projet de construction, il va s'agir de la réalisation de l'équipement.
- Une deuxième série d'étapes, le flux ascendant appelé généralement « assemblage », qui vise à valider le produit jusqu'à sa réception finale. Cette phase comprend principalement des séries d'essais ou de tests jusqu'à pouvoir valider que le produit répond au besoin.

Le cycle en V est adapté aux réalisations ayant une dimension « système », c'est-à-dire qui sont un ensemble fait de plusieurs éléments (modules ou composants). Cela requiert dans le flux descendant de distinguer une conception générale du système, puis une

conception détaillée de chaque composant. La production se fait alors composant par composant. Dans le flux ascendant, il est nécessaire de la même façon d'effectuer des tests unitaires de chaque composant, puis d'intégrer le système, c'est-à-dire d'assembler ces composants, et de faire un test d'intégration.

Le cycle en V apporte une grande attention à la vérification et à la validation. Une vérification consiste à s'assurer à chaque étape du processus de développement que cette phase a été exécutée correctement en termes de complétude, de correction et de cohérence. Ces vérifications répondent à la question : est-ce que le produit est correctement exécuté ? Une validation consiste à confirmer à chaque étape du processus d'assemblage et par des preuves tangibles que les exigences sont satisfaites pour l'utilisation prévue. Les validations répondent à la question : le produit répond-il au besoin ?

Les contrôles lors du cycle en V sont ainsi nombreux. L'apport du cycle est d'enrichir les contrôles de vérification, de tests de validation, offrant une grande redondance et concourant à un haut niveau de sécurité. Ainsi, lorsqu'une tâche met en œuvre une intervention humaine dans la conception, « trois paires d'yeux » indépendantes sont mises en œuvre pour obtenir un bon niveau de sécurité : une paire fait ; une autre vérifie ; et une troisième valide. Cette troisième personne intervient dans le cycle remontant en effectuant les essais de validation.

Le processus du cycle en V est décrit dans la norme CENELEC⁶ EN 50126 « Applications ferroviaires – Spécification et démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité (FDMS) ». Une mission d'évaluation, que nous décrirons plus en détail au paragraphe 3.5.3, vient également examiner la bonne mise en œuvre et la complétude des opérations.

Toutes les étapes de construction d'une infrastructure ferroviaire se prêtent bien à une organisation de cycle en V. Parmi les premières étapes du cycle descendant, on peut retenir celles typiquement ferroviaires :

- l'élaboration des plans techniques. C'est la traduction de l'expression du besoin en termes techniques. Ce doit être compréhensible par toutes les parties ;
- l'élaboration des schémas d'exécution ;
- le paramétrage de la partie logicielle ; cette brique est apparue concomitamment au développement de composants embarquant des produits informatiques.

Le degré de détail auquel on travaille tout au long du cycle définit des « niveaux » d'intégration entre la phase descendante et la phase ascendante. Le niveau est défini par l'étage de la flèche horizontale qui associe le type de validation à la phase de développement. À chaque étape d'assemblage correspond une validation formelle, dont l'approche est propre au niveau où l'on se situe sur le cycle en V.

Concernant ces validations ;

- les « tests unitaires » valident le bon fonctionnement et la conformité de chaque composant à sa conception détaillée ;
- les « tests d'intégration » valident que le système, une fois assemblé dans son ensemble, fonctionne conformément à sa conception générale ;
- les « tests de validation » valident que le système est conforme aux exigences comme les plans techniques ;

6 Le Comité européen de normalisation en électronique et en électrotechnique (CENELEC) fournit les normes électrotechniques afin d'aider au développement des services et des biens dans les domaines électrotechniques, électriques et électroniques sur le marché européen.

- les « tests de recette » valident que le système dans son ensemble est conforme au besoin exprimé.

Le retour d'expérience sur les grands projets montre que ce processus normé est robuste et peu sensible à une erreur humaine.

3.5.2 - La sûreté de fonctionnement de la signalisation

La sûreté de fonctionnement d'un système électronique traduit le niveau de confiance que l'on peut avoir dans le bon fonctionnement de ce système. La norme européenne NF EN 61508, intitulée « Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques / électroniques / électroniques programmables relatifs à la sécurité », définit cette notion et présente une approche permettant, dans la conception et la maintenance du système, de garantir un niveau de confiance requis. La norme NF EN 50129, intitulée « Applications ferroviaires - Systèmes de signalisation, de télécommunications et de traitement », qui est d'application sectorielle au ferroviaire, reprend les mêmes notions.

Ces normes définissent quatre niveaux de confiance possibles, appelés SIL (pour Safety Integrity Level ou niveau d'intégrité de la sécurité), classés de SIL 1 à SIL 4. SIL 4 correspond à la confiance la plus élevée. Un niveau SIL 4 signifie que le système qui atteint un tel niveau d'exigence est tel qu'il *ne devrait jamais arriver de survenance d'un évènement contraire à la sécurité dans la vie du système*. La norme fixe l'exigence à un maximum de 10^{-9} survenance par heure de fonctionnement lorsque des composants faillibles entrent en ligne de compte, autrement dit une survenance tous les 114 000 ans.

La signalisation ferroviaire ETCS niveau 2 répond au niveau d'exigence SIL 4 de la norme, la survenance de l'évènement contraire à la sécurité étant, dans notre cas, une vitesse autorisée plus élevée que celle possible sans risque. La justification du niveau de confiance est obtenue moyennant des contraintes sur la conception, l'exploitation et la maintenance du système. Pour la conception, dans le cadre de la mise en œuvre du cycle en V et de l'intervention de trois paires d'yeux différentes les unes des autres, une validation exhaustive de toutes les fonctionnalités de signalisation est requise en phase d'assemblage.

3.5.3 - Les évaluations

Un ensemble de textes législatifs nationaux et européens encadre les projets de construction d'infrastructure ferroviaire. Certains de ces textes prescrivent l'intervention d'évaluateurs (décret 2006-1279 relatif à la sécurité et à l'interopérabilité du système ferroviaire, en vigueur à l'époque de la construction de la ligne, et nouveau décret 2019-525 relatif à la sécurité et à l'interopérabilité du système ferroviaire aujourd'hui).

Les évaluateurs ont pour mission de formuler un jugement sur le fait que le système ou le produit a été réalisé selon des processus conformes et qu'il répond à l'objectif attendu en matière de sécurité. Ces évaluateurs sont :

- l'AsBo (Assessment Body, en français organisme d'évaluation) qui examine le respect des normes, référentiels et méthodes de sécurité communes ; il vérifie que, dans la configuration projetée, les risques ne sont pas aggravés par rapport à une situation de référence ;
- l'organisme qualifié agréé par l'EPSF (OQA), désigné comme tel à l'époque de la construction de la LGV BPL, qui évalue la conformité aux règles techniques nationales, et qui se nomme désormais le DeBo (Designed Body, en français organisme « désigné ») ;
- le NoBo (Notified Body, en français organisme « notifié ») qui évalue la conformité aux spécifications techniques d'interopérabilité ferroviaire européenne ;

- l'ISA (Independent Safety Assessor, en français évaluateur indépendant de la sécurité) qui évalue la conformité des processus ainsi que leur réalisation vis-à-vis des exigences des normes CENELEC sur les systèmes de signalisation EN 50126 (sûreté de fonctionnement), EN 50128 (logiciels) et EN 50129 (systèmes électroniques pour la signalisation).

Dans le cadre de la construction de la LGV BPL, c'est la société CERTIFER, accréditée par le COFRAC, Comité français d'accréditation, qui a assuré l'ensemble des évaluations, tant pour ERE et CLERE que pour HITACHI Rail STS. Pour ce qui concerne les rapports d'évaluation de CERTIFER en relation avec la survitesse du 22 décembre 2019, nous retenons :

- un rapport d'audit portant sur ETCS niveau 2, dont l'évaluation du paramétrage des RBC. Ce rapport fait partie de l'évaluation de la sécurité du sous-système contrôle commande et signalisation de la LGV BPL ;
- un rapport de synthèse d'évaluation de la sécurité et de l'interopérabilité du sous-système « contrôle-commande signalisation et télécommunication » sol de la LGV BPL, comprenant une partie traitant des essais en condition opérationnelle de la signalisation avant mise en service.

3.5.4 - L'Établissement Public de Sécurité Ferroviaire

L'EPSF est en France « l'autorité nationale de sécurité » au sens de la directive européenne 2016/798 relative à la sécurité ferroviaire. À ce titre, il était en charge de la délivrance de l'autorisation de mise en exploitation commerciale des lignes nouvelles (AMEC) à l'époque de la construction de la LGV BPL.

Le processus aboutissant à l'AMEC vérifie que l'infrastructure nouvelle est conforme aux obligations nationales et européennes permettant aux trains et au personnel d'y circuler en sécurité. Pour ce faire, l'EPSF étudie le dossier de sécurité de la nouvelle installation fourni par le demandeur, avec des pièces accessoires constituées d'études, expertises et examens, ainsi que des évaluations sur des parties du nouveau système établies par les évaluateurs.

L'EPSF effectue un « troisième regard ». Le premier regard est celui du demandeur. Pour ce qui concerne ETCS, il est fait par l'industriel fournisseur, complété par le demandeur, en l'occurrence ici le maître d'ouvrage ERE. Le deuxième regard est assuré par l'évaluateur qui vérifie l'utilisation correcte de la méthode de réalisation des systèmes de signalisation.

Les missions spécifiques de l'EPSF liées à l'instruction du dossier sont notamment :

- la vérification de la mise en œuvre de la couverture des risques identifiés (risques du registre des dangers clôturés, éléments de preuve identifiés) ;
- l'amortissement des contraintes exportées (dangers transférés à d'autres acteurs) ;
- l'analyse des rapports des évaluateurs ;
- la vérification de l'application de la réglementation nationale et/ou européenne par le demandeur.

L'EPSF étudie l'analyse des risques présentée dans le dossier de sécurité. Il regarde la façon dont la nouvelle installation est conçue, les principes, normes et règles de l'art retenus, ainsi que le type d'exploitation qui en sera faite. Il regarde également les principes de maintenance. L'AMEC répond à une photographie à un instant donné. L'infrastructure sera par la suite suivie au cours du cycle de vie par l'EPSF au titre des missions de contrôles afin de vérifier en continuité le respect des règles et normes.

Des témoignages recueillis auprès de son personnel sur le dossier LGV BPL, l'EPSF a principalement retenu la mixité du trafic Voyageurs avec du trafic Fret sur une LGV, ainsi que la superposition TVM, ETCS niveau 2 et ETCS niveau 1 sans signalisation latérale.

L'EPSF a délivré l'AMEC de la LGV BPL le 15 mai 2017 à ERE. Le périmètre en était les voies principales de la LGV BPL, ses raccordements, la virgule de Sablé et les raccordements Fret de Connerré et La Milesse. L'AMEC a permis d'intégrer cette nouvelle ligne dans le RFN.

Concernant ETCS niveau 1, compte tenu de sa maturité partielle en mai 2017, ses essais ont été réalisés plus tard en fin d'année 2017, et l'AMEC ETCS niveau 1 a été délivrée le 6 juillet 2018.

L'AMEC est délivrée sans limite de durée. Elle est attribuée à une infrastructure ou à une installation, y compris pour sa maintenance. Elle n'est pas attachée à un quelconque affectataire.

3.6 - La production de ETCS niveau 2 pour la LGV BPL

3.6.1 - La production des postes de signalisation – le paramétrage

HITACHI Rail STS a eu en charge la production de toute la signalisation de la LGV BPL, dont la fourniture des quatre RBC. Ceci correspond, dans le cadre du cycle en V et à partir d'un produit générique de RBC déjà validé, aux étapes de conception avec l'instanciation du système, mais également de validation des fonctionnalités.

HITACHI Rail STS a réalisé les programmes de signalisation et les plans techniques, puis a fourni les systèmes de signalisation et leurs équipements associés :

- SEI ;
- TVM 300 ;
- ETCS niveau 2, dont les 4 RBC ;
- ETCS niveau 1 pour le contournement du Mans ;
- eurobalises et autres équipements sol.

HITACHI Rail STS a assuré dans ce cadre les prestations suivantes :

- la programmation et le paramétrage des équipements fournis ;
- l'installation et la mise en service des SEI et des RBC ;
- la réalisation des essais statiques de validation de la signalisation ferroviaire (SEI TVM et ETCS) ;
- une participation aux essais dynamiques de signalisation ferroviaire (ETCS) ;
- la réalisation des études de sécurité et la préparation du dossier de sécurité du système de signalisation.

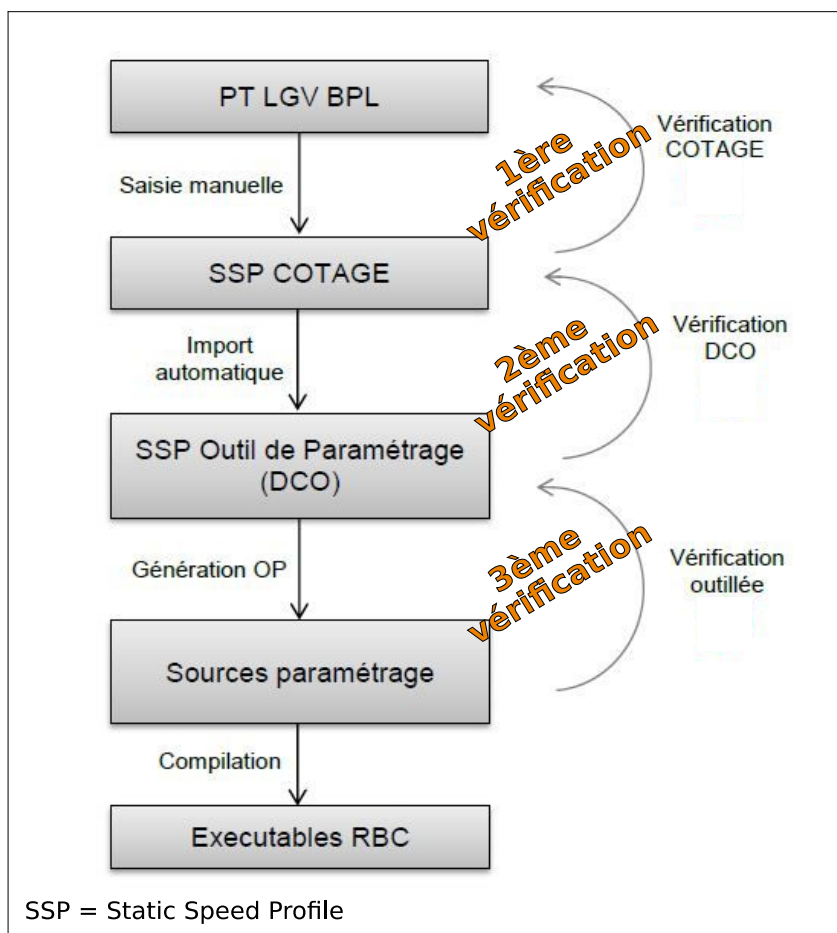
3.6.1.1 - Le processus

La survitesse du TGV 8055 du 22 décembre 2019 trouvant sa cause dans la signalisation ETCS niveau 2, et plus particulièrement dans le paramétrage du RBC 1, les investigations se sont portées sur le paramétrage des RBC.

Les RBC fournis sont des RBC standards, du type de ceux déjà mis en service sur la LGV Est-Européenne. Ils sont équipés de fonctions génériques présentes sur tous les RBC. Le paramétrage, quant à lui, consiste à transcrire dans chaque RBC la description

locale de la LGV avec les divers itinéraires offerts afin de transmettre aux trains les ordres de signalisation. L'objectif est notamment d'afficher sur le DMI en cabine de conduite une consigne de vitesse (vitesse but au point but) en fonction de l'itinéraire à suivre et de la situation.

La vue suivante présente le synoptique des tâches de paramétrage des profils de vitesse des RBC auquel se superpose les opérations de « vérification » que nous examinerons plus loin.



Vue 10 : les tâches de paramétrage et de vérification du paramétrage par HITACHI Rail STS

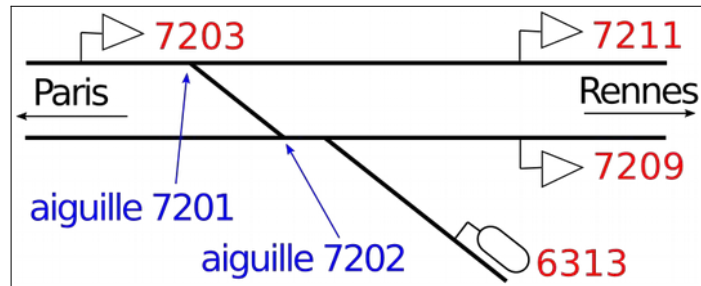
Le paramétrage des RBC est produit à partir d'un fichier dit « COTAGE ». Le fichier COTAGE correspond à une transcription des plans techniques de signalisation, dont la pièce 1 des plans techniques qui décrit la signalisation en prenant en complément les données ETCS décrites par la pièce 30.

La création du fichier COTAGE commence par la saisie manuelle par un opérateur « paramétreur » des plans techniques qui lui sont fournis sur support papier. Les plans techniques, qui ont été validés dans le cadre d'un processus amont, ont le statut de référence exempte d'erreur. Puis les informations saisies sont vérifiées par deux opérateurs travaillant en série. L'objectif est de disposer de données informatiques pouvant servir de source pour les travaux aval.

Le fichier COTAGE est ensuite utilisé par l'outil de paramétrage pour constituer le « dossier de configuration » (DCO). Après diverses vérifications par des automates informatiques, les données sont compilées en un fichier exécutable qui constitue le paramétrage des RBC.

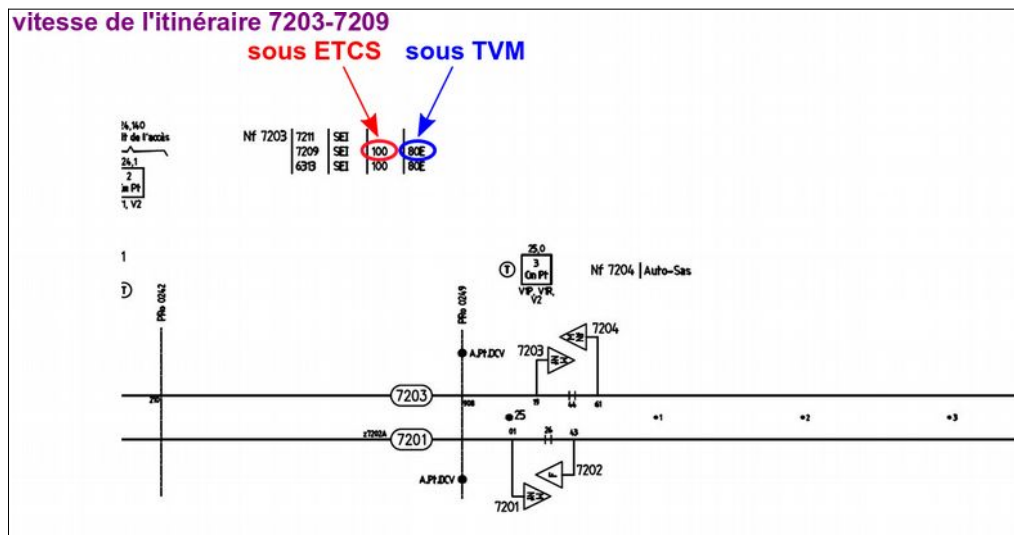
3.6.1.2 - Le paramétrage du 100 km/h sur la traversée 7201-7202

Le but du paramétrage est d'afficher la vitesse but de 100 km/h pour le passage par la traversée 7201-7202. Cela correspond aux itinéraires 7203-7209 (celui suivi par le TGV 8055) et 7203-6313.



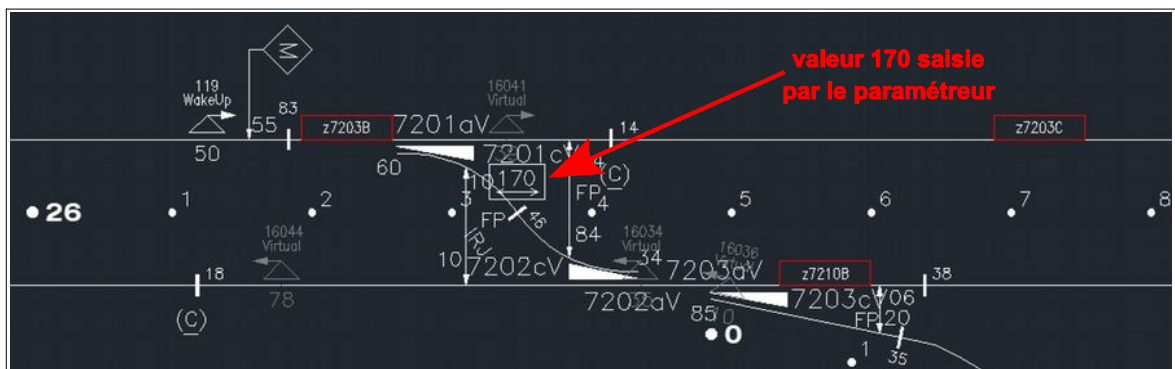
Vue 11 : l'itinéraire 7203-7209

Ce taux de vitesse de 100 km/h est fourni par les plans techniques, dont un extrait est donné sur la vue suivante.



Vue 12 : le plan technique du poste 72 - Aigné présentant les itinéraires origine 7203

Le paramétreur a par erreur saisi la valeur 170 km/h pour la vitesse sur la traversée 7201-7202 dans le fichier COTAGE.



Vue 13 : la saisie du fichier COTAGE par le paramétreur

Selon le témoignage de l'encadrant du paramétreur recueilli par le BEA-TT, la création du fichier COTAGE de toute la LGV BPL a demandé un mois d'activité, à raison de huit heures quotidiennes consacrées exclusivement à la saisie des données à partir des plans techniques. C'est la même personne qui a saisi le paramétrage des quatre RBC.

3.6.2 - La vérification du paramétrage

3.6.2.1 - Les tâches

Les taux de vitesse sont vérifiés à trois étapes du processus nommé « Vérifications & Validation » chez HITACHI Rail STS (voir vue 10) :

- **1^{re} vérification** : La vérification des saisies COTAGE consiste en la lecture et le cochage des pièces techniques de référence, tout en vérifiant leur bon report dans le fichier. Elle est réalisée au sein d'un pool de trois personnes travaillant par binôme sur chaque poste, de manière indépendante et de façon itérative (double vérification). Lors de la création du fichier COTAGE, les taux de vitesse saisis par le paramétreur sont donc vérifiés par chacune des deux personnes du binôme. Les données sont réputées bonnes à la suite de cette double vérification sans erreur détectée.

Cette première vérification a pour but de garantir la conformité et la complétude des données vis-à-vis des données de référence avant leur exploitation par l'outil de programmation du RBC et par les outils informatiques de vérification. Une fois vérifiées, les données du fichier COTAGE sont considérées être des références intermédiaires pouvant être utilisées comme références pour d'autres vérifications par HITACHI Rail STS et ses sous-traitants.

Les données en sortie de cette vérification sont utilisées dans les étapes suivantes du processus Vérifications & Validation.

- **2^e vérification** : les taux de vitesse du DCO (Dossier de configuration) générés en sortie de l'outil de paramétrage font l'objet d'une nouvelle double vérification manuelle. Le fichier DCO est le produit de sortie de l'outil de paramétrage avant compilation du fichier exécutable. Cette nouvelle vérification est assurée en sous-traitance externe par l'entreprise TGSO. Elle est menée sur le fichier DCO et effectuée sur la base du fichier COTAGE en ce qui concerne les taux de vitesse, le fichier COTAGE ayant été préalablement vérifié lors de la 1^{re} vérification comme nous l'avons vu.
- **3^e vérification** : elle est constituée de tests automatisés menés par des outils propriété de HITACHI Rail STS. Elle vérifie le produit de sortie de l'outil de paramétrage. Des algorithmes informatiques vérifient notamment les taux de vitesse figurant dans le code généré par l'outil de paramétrage. La vérification est faite par rapport aux données DCO précédemment vérifiées lors de la 2^e vérification.

3.6.2.2 - Le témoignage de l'encadrant des vérificateurs

Sur le projet BPL, il est responsable des activités vérification et validation du paramétrage des RBC produits chez HITACHI Rail STS. Ses équipes ont travaillé sur les projets LGV EE, SEA et BPL.

L'équipe de vérification COTAGE engagée sur le projet BPL était nouvelle, elle venait de l'unité SEI. En effet, les ressources habituelles Vérifications & Validation étaient alors positionnées sur les projets LGV EE (2^e phase) et LGV SEA. Les trois projets de LGV étaient à réaliser de front ce qui générait beaucoup d'activité. D'où l'appel à un renfort interne par des équipes différentes de celles de l'encadrant.

HITACHI Rail STS a fait remarquer aux enquêteurs du BEA-TT que l'activité était soutenue avec un planning contraint certes, mais sans stress supérieur à une autre activité. HITACHI Rail STS recourt à la sous-traitance pour absorber les pics de charge.

Les trois vérificateurs intervenus sur le fichier COTAGE des RBC de la LGV BPL connaissaient l'environnement ferroviaire car provenant de l'équipe « Enclenchements-SEI ». Bien qu'en renfort, ils connaissaient les processus et la culture HITACHI Rail STS. C'étaient des vérificateurs « Enclenchements » expérimentés, mais ils étaient nouveaux dans l'environnement ETCS, dont les processus sont différents de ceux des SEI.

C'est l'encadrant qui les a accueillis et qui a piloté leur formation à leur nouvelle activité. Ils ont reçu une première formation par le responsable développement RBC. Cette formation se déroule habituellement sur une journée, mais les nouveaux arrivants ont bénéficié de deux jours. Puis les vérificateurs ont été en compagnonnage avec les équipes travaillant sur les projets EE2 et SEA pendant deux semaines. Le travail consistait à élaborer le plan de vérification COTAGE, c'est-à-dire à établir la liste des points à vérifier.

La formation des vérificateurs n'est pas formalisée dans un document. La raison est qu'il y a peu de turn-over. La cause de l'appel à une équipe nouvelle pour la LGV BPL était le pic de charge.

C'est l'encadrant qui a évalué et validé les trois nouveaux vérificateurs à l'issue de leur formation : ils savaient lire les plans techniques, documents typiquement ferroviaires, et ils avaient actualisé le plan de vérification COTAGE.

Ensuite, lors de l'activité « Vérification des données COTAGE », l'encadrant n'a pas effectué un suivi fin des vérifications menées, « *ce qui aurait conduit à faire une seconde fois leur travail.* » Lors des réunions d'atelier, il n'a pas abordé la présence d'aiguilles à 100 km/h. Il a évoqué les trains de fret avec des taux de vitesse différents de ceux classiques sur LGV, ainsi que la présence de ETCS niveau 1.

L'activité de vérification a détecté de nombreuses erreurs. Sur le RBC 1, qui est petit par le volume de données, le premier vérificateur a trouvé 23 erreurs et le second 10 erreurs. Sur le RBC 2 commandant la virgule de Sablé et de taille plus habituelle, le premier vérificateur a trouvé 43 erreurs et le second 11.

Les aiguilles à 100 km/h du poste 71 (RBC 1) et les aiguilles à 80 km/h du poste 80 (RBC 4) avaient été mal renseignées dans le fichier COTAGE par le paramétreur. Les opérations de vérification ont détecté ces deux non-conformités. Le vérificateur qui a identifié ces erreurs n'est pas intervenu sur le poste 72 du RBC 1 incluant l'itinéraire 7203-7209. Il n'a pas fait bénéficier aux autres vérificateurs de son expérience, parce que le partage lors des réunions de coordination n'a pas été fait et qu'il n'y a pas de processus de retour d'expérience à la fin des activités de vérification COTAGE .

3.6.2.3 - *Le témoignage d'un vérificateur du paramétrage des RBC*

Il a travaillé auparavant chez Arianegroup et Thalès comme systémier pour l'aéronautique et en systèmes informatiques. Aujourd'hui, il est collaborateur d'Expleo⁷ en qualité d'ingénieur d'études. Il est intervenu sur le projet LGV BPL en tant que prestataire pour HITACHI Rail STS.

Il a d'abord effectué une mission de vérification du paramétrage de SEI pendant 2 ans, dont les SEI pour le projet LGV SEA. Parmi les tâches, il y avait une batterie de tests. Les échanges avec l'équipe de validation étaient intenses. Sur ce premier projet, il n'y avait pas de train de fret et il ne se souvient plus s'il fallait vérifier la vitesse limite sur les aiguilles en position déviée.

Puis il a été missionné pour effectuer la vérification du paramétrage des RBC pour le projet LGV BPL. Il estime que la vérification du fichier COTAGE paraissait plus simple que celle du paramétrage des SEI car il y avait moins de pièces en documents sources. Il déclare ne pas avoir l'habitude de travailler à partir du plan de voies (Pièce 1 des plans techniques). Les valeurs à vérifier sont identifiées soit par chek-list, soit à l'avenant. Il travaillait pour la première fois à partir d'un fichier COTAGE.

Pour le poste 72, il est parti du plan de voies. Il ne se souvient plus s'il fallait vérifier les vitesses limites : « *on ne se posait pas de question sur les aiguilles. Sur LGV, elles sont toutes à 170. On n'avait pas pigé que les trains fret seraient là. Il n'y avait pas ce type de configuration sur SEA.* ».

Il connaît les autres vérificateurs intervenus sur les RBC du projet LGV BPL ; il a déjà travaillé avec eux sur les SEI. Par contre, il n'a aucune relation avec le paramétreur qui a créé le fichier COTAGE. S'il y avait eu besoin d'échanger, cela serait passé par le chef du lot chez HITACHI Rail STS.

Le vérificateur ne savait pas qu'il participait à une vérification qui s'avérera unique. Il pensait que les essais ultérieurs « *boucheraient les éventuels trous* ». Il se représentait la vérification qu'il effectuait comme un déverminage. Il a été surpris de pouvoir passer dans un trou non rattrapé par des essais ou par un autre test automatique. Il a été étonné d'avoir été le seul vérificateur.

Concernant le respect des délais, la pression exercée par la hiérarchie était habituelle, quoique légèrement supérieure à celle du projet SEI pour la LGV SEA.

Il estime qu'une piste d'amélioration peut être recherchée par une formation plus poussée sur les points de vigilance de la signalisation ferroviaire.

3.6.2.4 - *L'évaluation du processus de vérification du paramétrage par CERTIFER*

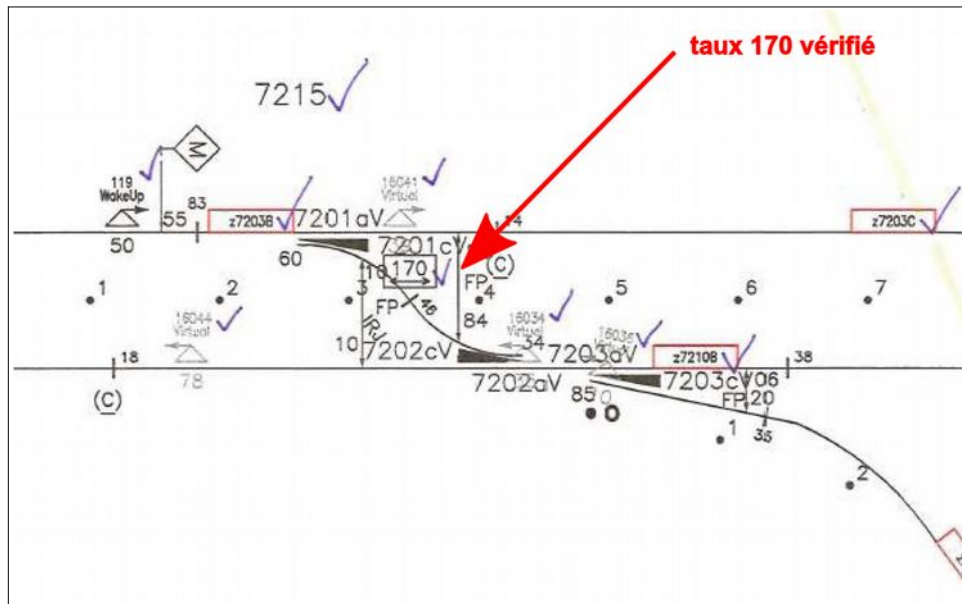
L'unité Vérifications & Validation a été auditée par CERTIFER. L'audit n'a pas relevé de non-conformité, c'est-à-dire d'écart par rapport aux exigences.

CERTIFER a rencontré les opérateurs en charge de la vérification, ainsi que leur encadrant. Les vérificateurs intervenus, tous ingénieurs, sont reconnus qualifiés pour cette activité. Leurs qualifications sont globalement conformes aux attentes des processus RH, qualité et sécurité pour le paramétrage des RBC. CERTIFER a noté que les vérificateurs du paramétrage étaient expérimentés. Le vérificateur rencontré par les enquêteurs du BEA-TT est titulaire d'une importante expérience en signalisation.

⁷ La société Expleo a été créée en 2017 par concentration de bureaux d'études « technologies » autour d'un noyau issu d'Assystem, bureau d'études spécialisé dans l'ingénierie et la gestion de projets complexes.

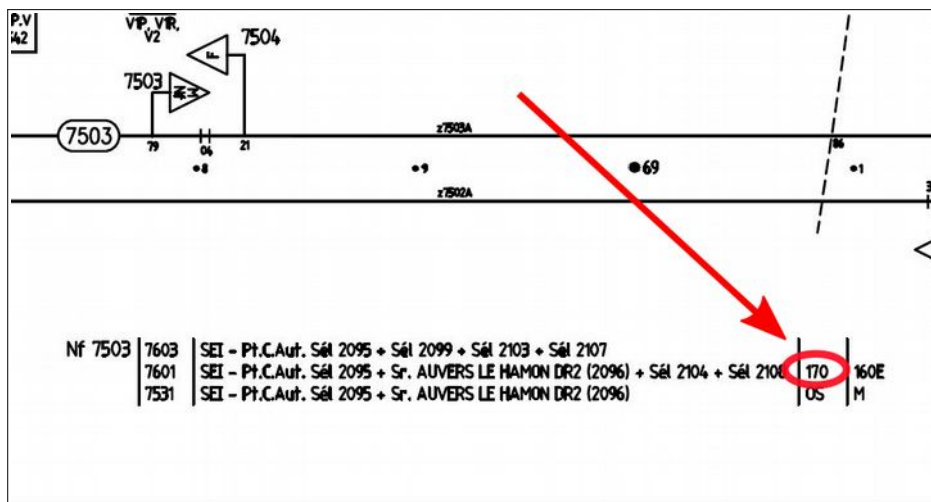
3.6.2.5 - Analyse du processus de vérification du paramétrage

Les deux vérificateurs du poste 72 ont validé la mauvaise valeur saisie par le paramétreur.



Vue 14 : extrait du fichier COTAGE après vérification montrant l'erreur de saisie sur la vitesse : 170 au lieu de 100 km/h

La valeur 170 est la vitesse habituelle des communications voie 1 - voie 2 sur LGV en France. Ce cas existe en divers endroits sur la LGV BPL. Un exemple en est donné dans la vue suivante.



Vue 15 : l'itinéraire d'un autre point de changement de voie

L'erreur de paramétrage du poste 72 n'a été détectée par aucun des deux vérificateurs intervenus.

En parallèle, la traversée jumelle de celle du poste 72, les aiguilles 7105 et 7106 du poste 71, avait été également incorrectement renseignée par le paramétreur à 170 km/h au lieu du 100 km/h. Un vérificateur a détecté l'erreur de paramétrage.

Ce même vérificateur a détecté le même type d'erreur sur le poste 80 (RBC 4) avec une traversée paramétrée à l'habituel taux de 170 km/h au lieu de 80 km/h.

Mais le vérificateur du poste 71 n'a pas échangé avec les vérificateurs du poste 72. Il n'y a pas eu de mise en commun des erreurs détectées. En corollaire, aucune analyse n'a été faite sur l'éventuelle répétitivité des erreurs car aucun processus de retour d'expérience n'est installé.

Le fichier COTAGE contenait une erreur. C'est sur la base de ce fichier erroné qu'ont été menées les vérifications suivantes. Il est naturel que l'erreur initiale se soit propagée dans l'aval de la chaîne de paramétrage du RBC, ne donnant pas l'opportunité aux 2^e et 3^e vérifications de rattraper l'erreur initiale.

3.6.3 - Les essais en plateforme de validation du paramétrage

3.6.3.1 - Les tâches

L'objectif des essais en plateforme est de valider le fonctionnel du sous-système RBC, ainsi que l'interaction entre le RBC et le train. Cette validation ne couvre pas la totalité des fonctionnalités, une part d'entre elles étant préalablement validées par la validation fonctionnelle du produit générique. Elle couvre l'instanciation du RBC et donc son paramétrage.

Cette phase s'est déroulée en plusieurs temps, d'abord en utilisant un RBC virtuel, jusqu'à un RBC réel, c'est-à-dire disposant du paramétrage qu'il aura lorsqu'il sera *in situ* en interaction avec le train. Il s'agissait de contrôler que le RBC envoyait la bonne information au train en fonction de l'environnement du moment en simulant les éléments externes au RBC (trains et enclenchements principalement).

La notion de « bonne information » est à comprendre comme étant la donnée située à un endroit précis du fichier de paramétrage, correspondant aux conditions du moment.

Les fiches des essais réalisés en plateforme sont établies sur la base des plans techniques. La validation est réalisée par des équipes indépendantes de celles ayant effectué la vérification du paramétrage.

3.6.3.2 - Analyse des essais en plateforme

Il apparaît que les essais en plateforme contrôlent les conditions dynamiques du RBC. Ils ne contrôlent pas les valeurs statiques du paramétrage. Les profils de vitesse sont des éléments statiques du paramétrage qui ne sont donc pas couverts par cette validation.

Ainsi, pour l'itinéraire 7203-7209, celui du TGV 8055, l'essai contrôle que le RBC envoie la donnée paramétrée de la vitesse pour la traversée 7201-7202 en dévié. Par contre, l'essai en plateforme ne contrôle pas si cette donnée a une valeur en conformité avec les plans techniques.

Les éléments statiques sont semble-t-il réputés conformes dans le cadre des étapes précédentes de paramétrage. L'erreur de paramétrage du profil de vitesse sur le RBC 1 ne pouvait ainsi pas être détectée par les essais en plateforme.

La validation du paramétrage n'a ainsi pas été exhaustive. Les études et analyses de sécurité conduites par HITACHI Rail STS démontrant la couverture des exigences de sécurité n'ont pas détecté cette absence de validation.

3.6.3.3 - *Évaluation des essais en plateforme par CERTIFER*

CERTIFER a conclu de son évaluation que le processus de paramétrage des RBC mis en œuvre par HITACHI Rail STS est conforme aux standards de l'interopérabilité ferroviaire et aux exigences des normes CENELEC pour un système SIL4. Vu sous l'angle sûreté de fonctionnement, certaines tâches dans le paramétrage sont non de sécurité. Mais ce sont les processus mis en œuvre au cours du cycle de Vérification & Validation qui rendent le processus de sécurité.

CERTIFER a terminé sa prestation d'évaluateur indépendant de la sécurité (ISA) pour HITACHI Rail STS sur la signalisation en indiquant que « *le sous-système Contrôle-Commande de la Signalisation devra faire l'objet d'essais en conditions opérationnelles avant mise en service* ».

3.6.3.4 - *Le regard de l'EPSF*

Vu de l'EPSF, le paramétrage du RBC est une tâche primaire. L'EPSF ne descend pas à ce niveau : cette échelle se situe hors périmètre de ses missions. L'activité est appréciée par eux en se fiant à l'approche déjà réalisée par l'AsBo. Sur le sous-système « signalisation », aucun des commentaires de l'EPSF ne concerne le paramétrage du RBC.

3.6.4 - **Analyse et conclusion**

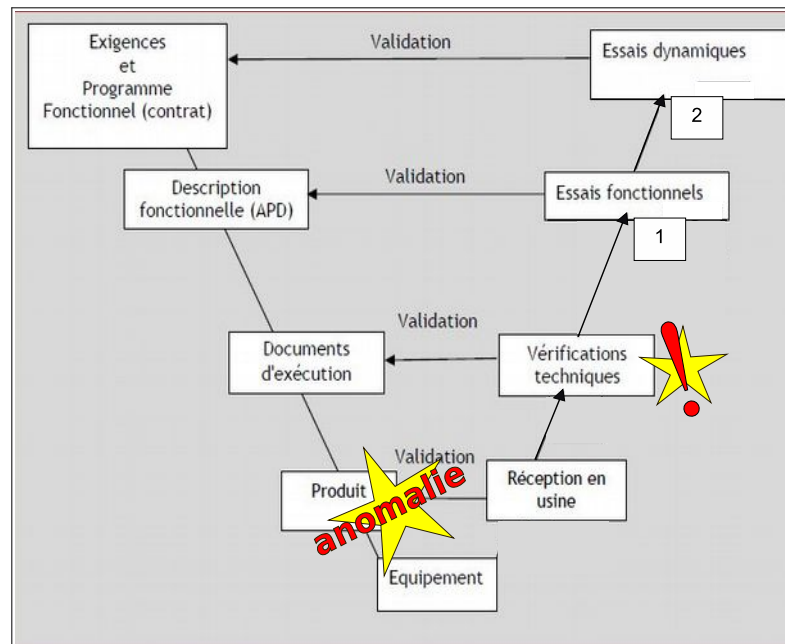
Afin de justifier la sécurité d'un système, les règles de « méthode de sécurité commune » (périmètre d'évaluation de l'AsBo) posent pour l'intégration des sous-composants spécifiés et construits pour le système que « *dans le cas des sous-systèmes développés selon un code de bonne pratique, cela inclut les preuves de conformité de la réalisation conformément au code de bonne pratique utilisé.* » Ces dispositions figurent aujourd'hui dans la nouvelle norme EN 50126-1 version 2017.

Or au titre de ces « bonnes pratiques » dans le cadre d'une mise en œuvre rigoureuse du cycle en V, le paramétrage doit faire l'objet d'une vérification, doublée d'une validation. Les contrôles techniques de validation sont à faire de façon exhaustive, sur la base des documents d'exécution de même niveau, c'est-à-dire les documents qui ont posé le besoin. Dans notre cas, ce sont les plans techniques. Ici, les essais sur plateforme ont omis la validation du paramétrage des profils de vitesse, laissant perdurer les erreurs de vérification préalablement commises. Enfin, la dernière vérification du paramétrage effectuée (3^e vérification) l'a été sur la base de données du fichier COTAGE qui sont d'un niveau inférieur à celui des plans techniques qui ont posé le besoin. Elle ne constituait ainsi pas une validation.

Pour ces raisons, nous ne partageons pas la conclusion de CERTIFER sur la conformité du processus de paramétrage de ce projet aux exigences du code de bonne pratique pour un système SIL 4.

En synthèse, plusieurs erreurs peuvent être constatées dans la production des postes RBC :

- une première erreur de paramétrage ;
- une deuxième erreur lors de la vérification du paramétrage, erreur par deux fois reproduite puisque cette vérification est double ;
- une troisième erreur d'absence de validation des profils de vitesse de la traversée, doublée d'une non-détection de la non-conformité du processus de production des RBC, la validation exhaustive des fonctionnalités de signalisation étant requise.



Vue 16 : les points de fragilité identifiés du paramétrage

3.7 - Les essais d'intégration et les essais dynamiques

3.7.1 - Présentation

Sur une nouvelle ligne, le premier de tous les essais est la qualification de la voie. Il consiste à faire circuler un train à la vitesse commerciale de la ligne augmentée de 10 % et à vérifier la tenue en voie⁸. Cet essai s'est révélé concluant, y compris pour la traversée 7201-7202 à la vitesse de 110 km/h. La qualification de la LGV BPL a été assurée sous signalisation TVM spécialement outillée pour la circonstance et qui ne présentait pas d'erreur de paramétrage. N'ayant pas d'impact sur la signalisation ETCS objet du présent dossier, l'essai de qualification de l'infrastructure n'est plus abordé dans la suite du rapport.

Les autres essais en ligne ont été divisés en 2 phases (numérotées également sur le schéma plus haut) :

- phase 1 : essais d'intégration des différents domaines technique entre eux ;
- phase 2 : essais dynamiques.

Les essais d'intégration ont lieu in situ, en configuration réelle de la ligne, avec les systèmes de signalisation assemblés et en place. Les essais, qu'ils soient d'intégration ou dynamiques, vérifient l'interfaçage entre le RBC et le SEI ; ils ne couvrent pas la validation des profils de vitesse de la ligne.

C'est CLERE qui a assuré le pilotage et les moyens des essais dynamiques. HITACHI Rail STS y a produit un programme d'essais de la signalisation qui a été intégré dans le reste des essais.

⁸ Cf. référentiel SNCF-Réseau IN 3279 « Référentiel technique pour la réalisation des LGV - Partie équipements ferroviaires - Tome EF 1 Voie ferrée » ou « Guide pour l'homologation de lignes grande vitesse » de l'UIC

L'objectif des essais d'intégration (phase 1) affiché par CLERE était de mesurer les temps de commutation et les temps de réponse des divers constituants sol et bord du système ETCS niveau 2. Ce qui permet de vérifier si le passage en vitesse aux points de transition, y compris entre RBC, est possible. Les points de transition sont délicats en ETCS niveau 2, car ils mettent en œuvre des échanges radio entre le sol et le bord qui peuvent être affectés de coupure et échouer. Au final, ces essais permettent de vérifier que la ligne nouvelle respecte le débit et donc la capacité de circulation spécifiés par SNCF Réseau.

Ces essais ont ciblé tous les raccordements. Le principe appliqué par CLERE était de chercher à tester toutes les transitions, en particulier aux limites de domaine ETCS, dans les 2 sens et pour chacune des voies.

Les essais dynamiques (phase 2) consistent à vérifier le fonctionnement d'ensemble du système à l'aide de trains circulant dans un premier temps à basse vitesse à 80 km/h, puis dans un second temps à la vitesse des circulations commerciales.

CLERE a indiqué aux enquêteurs du BEA-TT que « *tous les profils de vitesse ne font pas l'objet d'une validation spécifique lors de la phase d'essais dynamiques, en particulier, le profil de vitesse du changement de voie V1 vers V2 au pk 26+343 sur la zone de poste du SE172 n'est pas vérifié lors de cette étape.* »

Cette position est justifiée par le fait qu'il n'y aurait pas lieu de tester les profils de vitesse plus que les conséquences d'un changement d'état sur la signalisation, tel que la chute d'une zone ou la perte de contrôle d'une aiguille. Il serait illusoire de vouloir tester l'exhaustivité de la combinatoire des cas de la signalisation en phase d'essais dynamiques. Les dimensions de la matrice des cas sont gigantesques. Le processus serait très long, et très onéreux. Ces contrôles relèvent de validations de niveau inférieur dans le cycle en V.

Ce processus est cohérent avec celui mis en œuvre depuis les premiers postes d'aiguillage à enclenchements informatiques (postes d'aiguillage informatique PAI), où l'on procède à la vérification exhaustive de la sécurité du système par la campagne d'essais en plateforme et non sur site. Le retour d'expérience ne montre pas un déficit de niveau de sécurité.

3.7.2 - Le regard des évaluateurs sur les essais dynamiques sous ETCS niveau 2 de la LGV BPL

Dans son évaluation, CERTIFER conclut que les essais du système de la signalisation de la LGV BPL sont conformes aux exigences du référentiel, ainsi qu'au système de référence qui est la LGV EE.

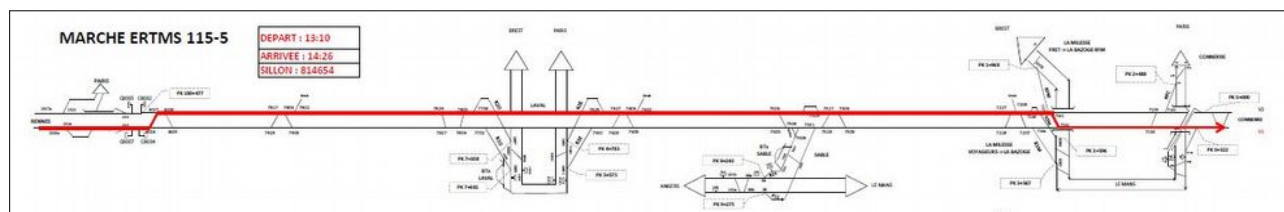
Faisant écho aux déclarations de CLERE, CERTIFER a confirmé aux enquêteurs du BEA-TT que faire des essais sur l'exhaustivité de la configuration suppose une volumétrie d'essais très importante. CERTIFER indique que la vérification des profils de vitesse n'entre pas dans le champ des essais dynamiques. Selon eux, les profils de vitesse devaient être exempts d'erreur après les essais sur plateforme effectués par HITACHI Rail STS.

3.7.3 - Une détection ratée : la marche 3.3 du mardi 25 avril 2017

Parmi les nombreuses marches d'essais dynamiques sous ETCS niveau 2, les enquêteurs du BEA-TT ont relevé la marche 3.3 du mardi 25 avril 2017.

Cette marche 3.3 est appelée marche 115-5 chez SNCF Mobilités qui fournit le matériel roulant et le conducteur. Elle est réalisée avec une rame TGV circulant sous ETCS niveau 2. Elle consiste à circuler sur la LGV BPL depuis Rennes jusqu'à la LGV Atlantique. L'objectif de l'essai est de vérifier la transition KVB - ETCS en entrée et la transition ETCS - TVM en sortie du domaine LGV BPL pour un train circulant en sens opposé au sens habituel.

La marche prévoyait de rentrer sur la LGV par la voie 1 en sens inverse au sens habituel, passer de la voie 1 sur la voie 2 par la traversée du poste 80 située à 200 m en aval du point de commutation KVB - ETCS, repasser de voie 2 sur voie 1 par la traversée 7202-7201 à La Milesse, puis quitter la LGV BPL par la voie 1 en continuant sur la LGV Atlantique sous TVM. Cette marche empruntait donc la traversée 7202-7201, à vitesse maximale, sous ETCS niveau 2, en sens inverse au TGV 8055 cependant.



Vue 17 : la marche 115-5

Lors du franchissement de la traversée 7202-7201, la consigne de vitesse affichée au DMI aurait été alors 170 km/h car c'est la valeur paramétrée dans le RBC. On peut raisonnablement supposer que l'équipage du train d'essai, au choix, aurait détecté la valeur anormale de la vitesse affichée au DMI, ou bien n'aurait pas manqué de signaler l'instabilité du train sur la traversée à la vitesse de 170 km/h permise alors, comme l'a fait l'équipage du TGV commercial 8055 du 22 décembre 2019.

Or, par suite d'une opportunité opérationnelle, la marche 3.3 a circulé de bout en bout par la voie 1 sans passer par la traversée 7202-7201. Aucun des compte-rendus de cette marche d'essai ne mentionne cependant cet écart entre le prévisionnel et le réalisé. De plus, le commanditaire CLERE n'a pas été formellement instruit par l'équipe d'essai de ce changement dans le déroulement des essais.

Lors de leurs investigations, les enquêteurs du BEA-TT ont constaté plusieurs autres cas d'essais dynamiques dont les comptes rendus étaient incomplets concernant les écarts entre le prévisionnel et le réalisé. Il est clair que, pour le personnel de bord, l'objectif des marches d'essai a été atteint car il consistait à tester les transitions ETCS - autre signalisation aux limites du domaine BPL. Cependant, cela pointe un défaut de qualité sur la traçabilité et l'information du donneur d'ordre. Cela altère aussi les recherches ultérieures en cas d'anomalie nouvellement révélée, ce qui a été notre cas.

Dans le cadre d'essais réalisés peu de temps après la catastrophe d'Eckwersheim, ce déficit de formalisation dans le reporting sur la réalisation des essais dynamiques est étonnant.

3.8 - ETCS, un nouveau système

ETCS est un système récent en phase de croissance. Un système nouveau nécessite immanquablement des réglages et ajustements lors de sa mise en fonctionnement. ETCS fait encore l'objet d'évolutions. Des alertes sont régulièrement émises par l'Agence de l'Union européenne pour les chemins de fer⁹ concernant des anomalies d'ETCS. Parmi les quatre alertes émises pour l'année 2020, une concernait le paramétrage de l'odométrie, les trois autres concernaient le bord. Aucune n'a de lien avec le paramétrage des profils de vitesse dans le RBC.

ETCS a toutefois la particularité d'être un système qui utilise une quantité très importante de données. Certains experts rencontrés par les enquêteurs du BEA-TT ont exprimé que, « *compte tenu de la volumétrie des données, il est illusoire de vouloir tester la combinatoire des situations possibles* ». Cette affirmation n'est pas recevable. ETCS est un système de sécurité. Si la philosophie d'une stratégie d'essais repose effectivement sur la réalisation de tests de respect des exigences sous contrainte de moyens, celle-ci doit s'effectuer en adéquation avec les autres tests comme les validations sur automates.

Ainsi, les tests sur plateformes permettent de vérifier normalement tous les éléments qui ne dépendent pas du temps (ex. : équation logique). Lorsqu'il est impossible ou trop complexe de les réaliser sur plateforme ou bien que la plateforme n'est pas représentative, les essais sont alors réalisés sur site (ex. : transition, temps de réponse, ergonomie de conduite...). À partir du moment où dans notre cas, l'erreur de paramétrage est une erreur de saisie (valeur unitaire présente sur le plan technique), elle était détectable sur plateforme.

Le produit générique RBC n'est pas la source de l'erreur dans le cas présent. Le problème vient d'erreurs successives concernant le paramétrage de l'infrastructure mis en œuvre localement.

Le constat est que les fichiers de paramétrage ou d'« instanciation des modèles applicatifs » contribuent directement à la sécurité des systèmes informatiques critiques. Le processus de production du paramétrage applicatif réalisé par un industriel doit répondre à une exigence de niveau d'intégrité la plus élevée, soit SIL4.

Concernant la difficulté à tester en plateforme la quantité toujours croissante des données introduites dans les systèmes concourant à la sécurité des circulations, de nouvelles méthodologies sont à mettre en œuvre. Aujourd'hui, les validations qui s'appuient sur les méthodes formelles peuvent permettre d'atteindre le niveau d'intégrité requis pour les données de paramétrage. La technologie retenue par l'industriel pour la réalisation des RBC de la LGV BPL ne prévoyait pas la mise en œuvre de ces méthodes formelles.

Les méthodes formelles peuvent être définies de la façon suivante. Ce sont des techniques permettant de raisonner rigoureusement sur un programme informatique ou sur du matériel électronique numérique. Il s'agit de démontrer par la logique mathématique la validité du produit quant au respect de certaines propriétés, par exemple les invariants de sécurité. Ces méthodes permettent d'obtenir une très forte assurance de l'absence de bug dans les logiciels (Safety Integrity Level).

9 L'ERA contribue à l'intégration des réseaux ferroviaires européens en renforçant la sécurité des trains et en leur permettant de franchir les frontières au sein de l'Union Européenne sans devoir s'y arrêter.

3.9 - Les mesures prises par l'industriel

À la suite de la découverte de l'erreur de La Milesse, le paramétrage des quatre RBC de la LGV BPL a été reconstrôlé par HITACHI Rail STS. Le plan d'actions a été étendu aux profils de vitesse de l'ensemble des LGV nationales équipées d'ETCS. Les contrôles ont été élargis à tous les paramètres non validés sur plateforme, qui suivent tous le même processus. Aucune nouvelle erreur n'a été découverte.

Antérieurement à la survitesse du 22 décembre 2019, il était laissé aux vérificateurs de la deuxième vérification le choix de la base sur laquelle ils allaient fonder leur travail. À leur convenance, ils pouvaient utiliser les plans techniques ou bien le fichier COTAGE. En matière d'ergonomie et de clarté, le recours aux données COTAGE est plus aisé que l'utilisation des plans techniques, jugés austères.

Pour ce qui concerne la procédure à appliquer maintenant pour la vérification des taux de vitesse au cours de la 2^e vérification, le fichier COTAGE ne peut plus être utilisé comme source sur laquelle est faite cette vérification. Pour cette étape, le vérificateur doit se baser sur les documents « papier » utilisés par le paramétreur de COTAGE. Parmi les documents « papier », il y a les plans techniques, qui portent l'expression du besoin de la signalisation du projet. Ce nouveau process, à choix réduit, est en adéquation avec les méthodes du cycle en V.

De plus, HITACHI Rail STS mène une réflexion pour recevoir en version numérique les documents source à l'usage du paramétreur. Cela éviterait la ressaisie manuelle et ses imperfections.

Concernant l'erreur de la traversée 7201-7202, le paramétrage du RBC 1 a fait l'objet d'une correction, en l'occurrence deux lignes de code dans le DCO. Cette correction intervenant sur les éléments de sécurité de la ligne, un processus lourd a été mis en œuvre, incluant vérification de non-régression et second regard par CERTIFER en tant que NoBo/ISA/AsBo.

Le paramétrage du RBC 1 a été corrigé physiquement le 7 mai 2020, permettant l'utilisation en dévié des aiguilles 7201-7202. Sous ETCS niveau 2, la consigne de vitesse affichée au conducteur devrait être maintenant de 100 km/h. À la date de rédaction du présent rapport, aucune vérification à bord d'un train n'a été opérée.

3.10 - L'action de l'EPSF

L'EPSF étudie l'analyse des risques présentée dans le dossier de sécurité. Il effectue ce que nous qualifions de « 3^e regard ».

L'EPSF procède par échantillonnage sur le respect des méthodes. L'échantillonnage représente de 5 à 10 % de la totalité du registre des dangers. Il est orienté sur les risques majeurs. L'instruction s'attache à la bonne couverture des risques. L'attention est portée aux cas d'exportation des risques sur les autres acteurs et à la forme de leur acceptation. L'EPSF travaille sur déclaratif du demandeur à travers un dossier : il n'effectue aucun déplacement sur site, ni entretien, ni prélèvement, ni audit.

Du dossier LGV BPL, l'EPSF a principalement retenu la mixité du trafic Voyageurs avec du trafic Fret sur une LGV, ainsi que la juxtaposition de TVM, ETCS N2 et ETCS N1 sans signalisation latérale. Ce sont les singularités les plus importantes du projet LGV BPL. Dans le cadre des études pour la délivrance de l'AMEC, l'attention que l'EPSF y a portée est fondée.

Les aiguilles à tangente 1/21° des postes 71 et 72 offrent en position déviée une vitesse limite inusuelle pour les trains de voyageurs sur une LGV. Dans le système ferroviaire, le respect des vitesses limite incombe au système de signalisation.

Il aurait été dédaléen de pressentir *a priori* une ligne de défaillance dans ce domaine, que le retour d'expérience montre robuste.

3.11 - Conclusion sur les facteurs organisationnels contributifs

Les investigations se sont limitées au seul périmètre de la signalisation ETCS niveau 2.

La LGV BPL est le premier projet de LGV avec des aiguilles inhabituelles. Trois changements de voie ont une vitesse limite inférieure à celle de 170 km/h habituellement appliquée aux points de changement de voie sur LGV. Ce sont la traversée 7201-7202 (100 km/h) au PK 26,343 du poste 72 et objet du présent rapport, la traversée 7105-7106 au PK 3,297 du poste 71 (100 km/h) et la traversée 8027-8028 au PK 178,076 du poste 80 (80 km/h). Les deux dernières traversées avaient été initialement et incorrectement paramétrées à une vitesse de 170 km/h. L'erreur a été détectée lors de la vérification du fichier COTAGE et rectifiée. Le vérificateur qui a détecté l'erreur de vitesse 170 au lieu de 100 et 80 sur les postes 71 et 80 n'est pas intervenu sur le poste 72.

La valeur « 100 km/h » est une donnée inhabituelle sur LGV en France. Détecter une valeur erronée à la place d'une donnée inhabituelle constitue un signal faible qu'il est judicieux de traiter. En effet, un signal faible est habituellement identifié en opérationnel comme une insuffisance sans conséquence grave, alors qu'il apparaîtra en bonne place dans les causes d'un évènement critique survenu *a posteriori*. En cela un signal faible est un précurseur.

Dans une logique de garantir la sécurité maximale des processus de réalisation, il convient de s'interroger si l'erreur sur la valeur inhabituelle est isolée ou bien si elle est reproductible, notamment sur les autres particularités du projet. Face à un évènement inhabituel mal traité, une bonne administration de la sûreté de fonctionnement doit faire s'interroger sur les deux points suivants :

- pourquoi l'organisation actuelle n'a-t-elle pas permis de résister à l'inhabituel ?
- l'évènement inhabituel est-il reproductible ?

L'erreur de paramétrage des postes 71 et 80 a bien été identifiée et corrigée, mais, faute de retour d'expérience formalisé, ce précurseur n'a pas été exploité. Ce qui n'a pas permis de détecter l'erreur de paramétrage sur le poste 72.

La qualification de la voie une fois acquise, les essais dynamiques avec ETCS niveau 2 étaient orientés sur la validation de la bonne intégration de ce système encore nouveau dans l'environnement ferroviaire. À la clé, était recherchée la justification de la capacité et du débit commercial contractualisés pour cette ligne nouvelle. La validation des profils de vitesse n'entraîne pas dans le champ des essais dynamiques.

Lors des essais dynamiques, des écarts entre le prévisionnel et le réalisé n'ont pas tous été consignés dans les comptes rendus. Ce qui montre une déficience dans la qualité du reporting des essais et dans l'information du commanditaire des essais. Cela contrarie les éventuelles recherches ultérieures sur le périmètre des essais réellement pratiqués, d'ailleurs induisant en erreur pour un temps les enquêteurs du BEA-TT lors de leurs investigations.

Certaines particularités de la LGV BPL n'ont pas fait l'objet d'essais dynamiques pour ce qui concerne la signalisation ETCS niveau 2. C'est le cas de la traversée 7201-7202, destinée initialement aux seuls trains de fret, puis étendue aux TGV circulant en

continuité de la LGV, et avec sa vitesse limite de 100 km/h inhabituelle pour des TGV. L'équipage des marches d'essais était informé des vitesses limites particulières de la LGV. Aussi, on peut raisonnablement supposer que, si la traversée 7201-7202 avait fait l'objet d'un essai à vitesse commerciale, l'équipage du train d'essai, au choix, aurait détecté la valeur anormale de la vitesse affichée au DMI, ou bien n'aurait pas manqué de signaler l'instabilité du train sur la traversée à la vitesse de 170 km/h permise alors, comme l'a fait l'équipage du TGV commercial 8055 du 22 décembre 2019.

Nous avons identifié d'autres cas de non-vérification des vitesses limites particulières sur la LGV. Ainsi la vitesse-but de 0 km/h pour un train circulant sous ETCS niveau 1 sur le contournement du Mans qui serait orienté vers la LGV, nous semble une caractéristique critique qui aurait dû être contrôlée.

Enfin, plusieurs entités rencontrées au cours de l'enquête ont évoqué le caractère illusoire de vouloir tester l'exhaustivité de la combinatoire des cas de signalisation. Cette affirmation touche un point fondamental de l'état de l'art et des exigences de sécurité pour les installations critiques. Elle est recevable lorsqu'il s'agit des essais dynamiques dont le périmètre est restreint à ce qui sort de la faisabilité et de la représentativité des plateformes de tests.

Néanmoins, cette affirmation est en contradiction totale avec l'état de l'art qui exige que chaque condition de sécurité, et elle seule, soit présente au moment où il le faut. Sortie de son contexte (essais dynamiques sur site), cette affirmation est inquiétante, dangereuse et inacceptable. Des techniques arrivent aujourd'hui à maturité qui permettent de raisonner rigoureusement à l'aide de logique mathématique sur des données numériques, y compris en grand nombre, afin de démontrer leur validité par rapport à une spécification. Ce sont les méthodes formelles. L'utilisation de telles méthodes permet la validation d'un grand ensemble de données.

4 - Analyse du déroulement de l'incident

Le dimanche 22 décembre 2019, le TGV 8055 est parti de Paris Montparnasse à 15 h 57, à l'heure. Il est à destination de Rennes en passant par les LGV Atlantique et BPL, sans arrêt intermédiaire. Précédemment, le TGV OUIGO 7603 est parti de Paris Montparnasse à 15 h 23. Il est également à destination de Rennes, mais il dessert la ville du Mans. Ces 2 trains circulent sur la voie 1.

À 16 h 24, alors que le TGV 8055 est en approche de la limite des LGV Atlantique et LGV BPL, le TGV OUIGO 7603 repart du Mans après un arrêt pour service voyageurs. Lors de sa transition vers le système ETCS niveau 2 prévu pour emprunter la LGV BPL, le TGV OUIGO est arrêté automatiquement à l'entrée de la LGV BPL sur le raccordement de La Milesse Voyageurs car son système de transmission radio est en panne. L'itinéraire d'accès à la LGV pour le OUIGO 7603 est commandé bien avant son arrêt et sa zone d'approche est occupée. La modification d'itinéraire pour libérer la voie est une procédure complexe qui va demander un temps long.

Si rien n'est fait, le TGV 8055 va être arrêté en ligne jusqu'au redémarrage du TGV OUIGO 7603.

Les opérateurs du PCD décident d'utiliser la capacité disponible de la voie 2. Ils dévient le TGV 8055 par cette voie 2 à partir du raccordement de La Milesse Fret et le font circuler en « banalisation » jusqu'au poste 73 Poigné/Vègre où il regagnera la voie 1. La déviation se fait par la traversée 7201-7202 constituée d'aiguilles 1/21^e dont la géométrie autorise une vitesse maximale de 100 km/h. Le retour sur la voie 1 est fait par des aiguilles autorisant une vitesse de 170 km/h. Les opérateurs du poste d'aiguillage ont estimé que la perte de temps due à ces 2 réductions de vitesse sera moindre que l'attente derrière le TGV OUIGO 7603 alors arrêté. Ils mettent en œuvre la modification d'itinéraire et informent le conducteur du TGV 8055 de son prochain passage sur la voie 2. Leur stratégie s'avérera bonne.

À 16 h 46, en relation avec l'annonce du PCD du prochain passage par la voie 2, le conducteur du TGV 8055 observe au DMI de sa cabine une commande de réduction de vitesse à 170 km/h avec une distance but de 8 km. Il s'y conforme et réduit la vitesse à 165 km/h à la distance au but. La vitesse affichée est cependant supérieure à la vitesse autorisée de 100 km/h car elle est erronée.

À 16 h 48, le TGV 8055 franchit les aiguilles 7201-7202 et rejoint la voie 2. Lors du franchissement des aiguillages en déviation, le conducteur remarque une forte sollicitation des suspensions de la motrice, comme une masse trop élevée sur l'aiguille. Cette situation l'étonne, mais il ne se sent pas en danger. Cependant, il commande un freinage au frein rhéostatique. Il va utiliser le prochain retour sur la voie 1 pour mieux ressentir le comportement de son train.

En rame arrière, la contrôleuse ressent une accélération horizontale inhabituelle, dégradant le confort du train et déséquilibrant le barman. La contrôleuse ne se sent pas en danger, mais elle en discutera avec le conducteur au terminus du train à Rennes.

Le TGV 8055 circule sur la voie 2 en remontant à la vitesse de 320 km/h. Pour le retour sur la voie 1, le DMI indique également une vitesse maximale de 170 km/h. Le conducteur ramène la vitesse à 150 km/h afin d'analyser le comportement du train. Le passage en déviation sur les aiguilles 7327-7328 se fait avec la tenue et le confort habituels. Ces aiguilles ont une géométrie permettant leur franchissement en dévié jusqu'à 170 km/h.

Le TGV 8055 arrive à Rennes sans autre évènement et à l'heure.

Quant au TGV OUIGO 7603, en concertation avec le PCD, il basculera sous système TVM et ralliera Rennes avec 32 minutes de retard derrière le TGV 8055, sans autre évènement.

Le lendemain en fin de matinée, le conducteur du TGV 8055 rapporte le ressenti d'inconfort de la contrôleuse et le déséquilibre du barman à sa hiérarchie, en précisant qu'il respectait la vitesse maximale de 170 km/h permise par le système ETCS. Celle-ci communique de manière informelle l'évènement à OPERE, le gestionnaire d'infrastructure, en indiquant la traversée 7207-7208 car c'est la seule dans le secteur dont la vitesse maximale autorisée est de 170 km/h.

Ne constatant rien sur la traversée mentionnée, le gestionnaire d'infrastructure investigate plus avant cette « bizarrerie ». Il détermine que c'est la traversée 7201-7202 qui a été utilisée par le TGV 8055. Compte tenu de la géométrie des aiguilles, la vitesse maximale de franchissement est de 100 km/h et non de 170 km/h.

Poursuivant ses investigations, le gestionnaire d'infrastructure identifie un défaut de paramétrage du RBC 1 de la LGV BPL. La vitesse maximale de franchissement des aiguilles 7201-7202 a été paramétrée à 170 km/h au lieu de 100 km/h.

OPERE interdit alors l'utilisation en dévié de ces aiguilles et de leurs jumelles, les aiguilles 7105-7106, à titre de mesures conservatoires en attendant de plus amples informations. La vitesse de franchissement des aiguilles 7105-7106 en dévié étant correcte, l'interdiction concernant ces aiguilles est levée immédiatement.

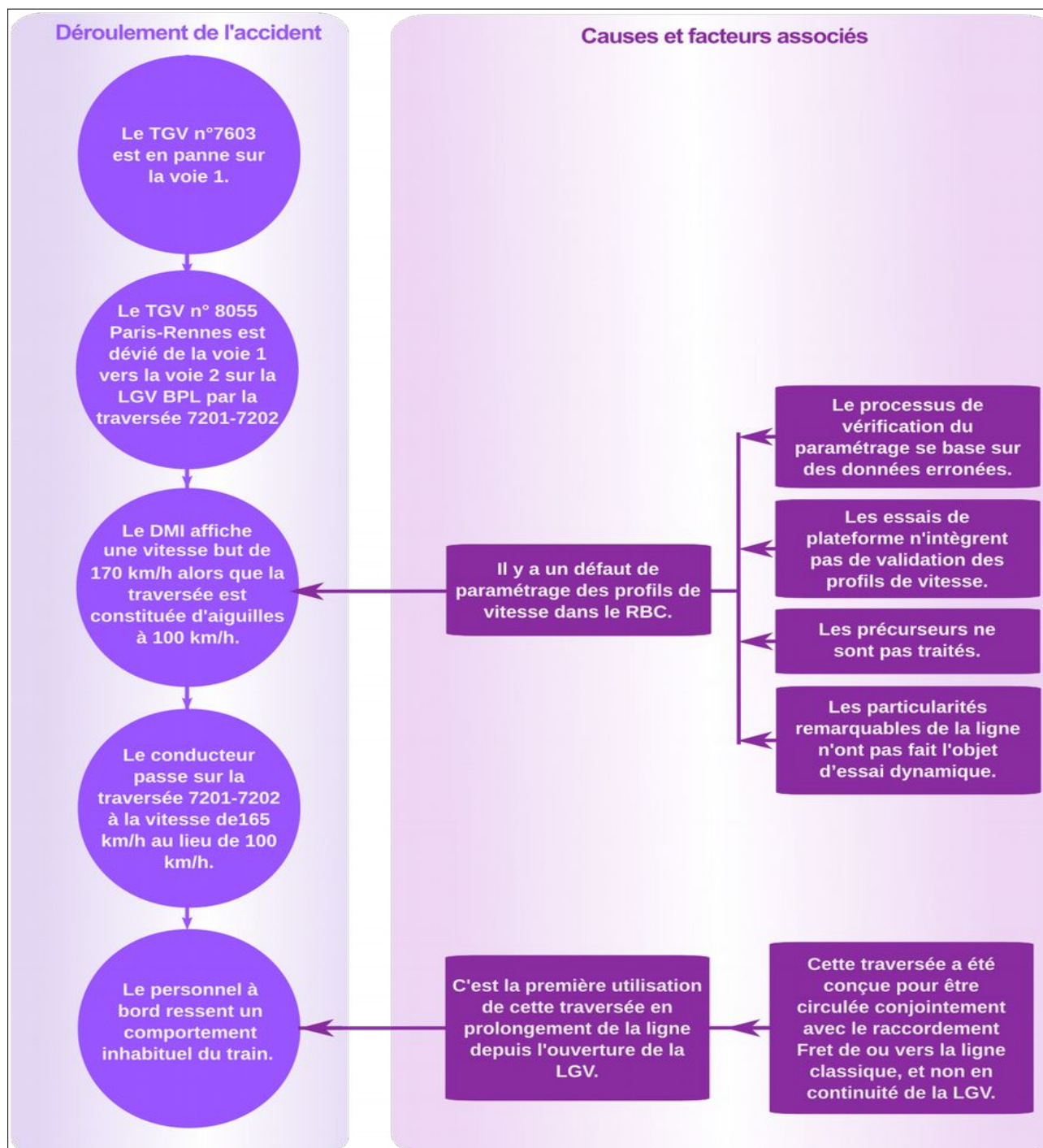
Lors de la construction de la ligne, les vérifications manuelles du paramétrage du RBC 1 ont permis de corriger plus d'une trentaine d'erreurs de saisie, mais pas la vitesse maximale de franchissement des aiguilles 7201-7202 en dévié qui est restée erronée.

Les essais dynamiques qui ont suivi n'ont pas eu pour objet la vérification des profils de vitesse. Ils n'ont pas franchi cette traversée sous ETCS à vitesse maximale. La validation de l'infrastructure a été quant à elle opérée sous TVM aménagée, donc 100 km/h en survitesse de 10 %, conformément à la procédure de certification de l'infrastructure.

5 - Analyse des causes et facteurs associés, orientations préventives

5.1 - Le schéma des causes et des facteurs associés

Les investigations effectuées permettent d'établir l'arbre des causes ci-dessous :



Vue 18 : l'arbre des causes

5.2 - Les causes de l'événement

La cause immédiate de la survitesse du TGV 8055 sur la traversée 7201-7202 est l'affichage au DMI en cabine de conduite d'une vitesse maximale autorisée de 170 km/h au lieu de 100 km/h. En conduite sous ETCS niveau 2, le DMI affiche en permanence la vitesse maximale à observer. Le conducteur obéit à cette consigne mise à jour en continu.

Le taux erroné de vitesse affichée provient de trois erreurs dans la production du RBC 1 :

- une première erreur de paramétrage ;
- une deuxième erreur lors de la vérification du paramétrage, erreur par deux fois reproduite puisque cette vérification est double ;
- une troisième erreur, de non-validation du paramétrage des profils de vitesse de la traversée lors des essais de plateforme, doublée de la non-détection par l'évaluateur de la non-conformité du processus aux exigences des normes CENELEC de sûreté de fonctionnement qui imposent cette validation.

Des erreurs similaires de paramétrage ont été détectées et corrigées. Mais elles ont été imparfaitement exploitées, ne permettant pas la correction sur la traversée 7201-7202. Plus généralement, les spécificités de la LGV BPL présentant de nouveaux risques pour l'exploitation n'ont pas toutes fait l'objet d'essais dynamiques. C'est le cas pour la vitesse limite inhabituelle de la traversée 7201-7202.

En parallèle, l'enquête a révélé que les essais dynamiques réalisés ont fait l'objet d'un reporting à la qualité insuffisante, retardant notamment la compréhension de l'événement lors de l'enquête.

Les orientations préventives sont à rechercher dans les domaines suivants :

- les vérifications et validations dans le cadre de la mise en œuvre du cycle en V ;
- le retour d'expérience ;
- le traitement des nouveautés introduites dans le projet ;
- la qualité des rapports d'essais.

5.3 - La vérification et la validation du paramétrage

Dans le cadre du paramétrage d'un RBC, le fichier COTAGE est créé par ressaisie manuelle des plans techniques.

Le processus Vérifications & Validation prévoit trois vérifications pour les taux de vitesse.

- Première vérification : une double vérification manuelle de la saisie des taux de vitesse dans le fichier COTAGE.
- Deuxième vérification : une double vérification manuelle des taux de vitesse générés en sortie de l'outil de paramétrage. La base de la vérification est constituée des valeurs du fichier COTAGE. Les données en sortie de cette vérification (DCO cochés) sont utilisées dans l'étape suivante de Vérifications & Validation.
- Troisième vérification : c'est une vérification automatisée. Des outils sont exécutés pour les quatre RBC. Ces outils vérifient de façon exhaustive le paramétrage du système de signalisation. La base de vérification a toutefois été le fichier DCO.

Lors de la phase remontante du cycle en V, des validations doivent se faire à partir des spécifications correspondant à leur niveau, ici les plans techniques qui définissent correctement les taux de vitesse. Dans le cas des RBC de la LGV BPL, les validations

n'ont pas porté sur les profils de vitesse de la traversée 7201-7202. La dernière vérification effectuée (3^e vérification) s'est effectuée sur une base de produits issue d'un niveau inférieur aux plans techniques, ne constituant pas une validation.

Dès lors, le mauvais taux de vitesse n'a pas été identifié.

Dans le cadre du bon usage du cycle en V sur un projet, il est indispensable de doubler les vérifications d'une validation, et d'utiliser pour ceci les documents d'entrée de même niveau d'intégration.

Le BEA-TT a noté que le processus ayant conduit au défaut de paramétrage du RBC avait, à la suite de l'incident, été durci par l'industriel. Les vérifications des taux de vitesse dans le DCO (2^e vérification) sont notamment maintenant effectués exclusivement depuis les documents d'entrée du niveau du produit.

Néanmoins il convient de s'assurer que cette disposition satisfait à l'exigence d'une validation et garantisse qu'une erreur de vérification ne se propage pas dans la suite du processus de production des systèmes de signalisation par l'industriel.

En conséquence, le BEA-TT émet la recommandation ci-après :

Recommandation R1 adressée à HITACHI Rail STS :

Revisiter les processus de production « signalisation ETCS » afin de s'assurer qu'une erreur de vérification ne soit pas propagée dans la suite du processus de production.

La validation du paramétrage s'est heurtée à la volumétrie des données à valider. Les systèmes informatiques désormais mis en œuvre pour la sécurité des circulations requerront des données toujours plus nombreuses. La certitude que chacune de ces données soit exacte doit être la règle.

Compte tenu de la difficulté à contrôler la quantité croissante des données de paramétrage, le recours à des algorithmes de validation est indispensable. L'utilisation des méthodes formelles, novatrices et fondées sur des concepts mathématiques évolués, est une réponse.

En conséquence, le BEA-TT émet la recommandation suivante :

Recommandation R2 adressée à HITACHI Rail STS :

Étudier l'implémentation d'algorithmes de méthodes formelles dans le cadre de la preuve de sûreté de fonctionnement des systèmes de signalisation.

Le BEA-TT invite les autres industriels fournisseurs de systèmes informatiques concourant à la sécurité des circulations à mettre en œuvre la recommandation R2.

5.4 - Le traitement des précurseurs

Les aiguilles à 100 km/h du poste 71 et les aiguilles à 80 km/h du poste 80 avaient été mal renseignées par le paramétreur. Les opérations de vérification ont bien détecté ces deux non-conformités. Mais, faute de retour d'expérience formalisé, ce précurseur n'a pas été exploité. Ce qui n'a pas permis de détecter l'erreur de paramétrage sur le poste 72 qui reproduisait l'erreur faite sur les postes 71 et 80.

Une valeur erronée à la place d'une donnée inhabituelle constitue un précurseur qu'il est indispensable de traiter dans l'objectif de garantir la fiabilité des processus de production et la sécurité des systèmes produits. Une politique efficace de prévention des risques repose sur la détection et l'exploitation des précurseurs pour anticiper les risques non

prévisibles ou sous-évalués. Les diverses réflexions sur l'exploitation des précurseurs exposent toutes que, faute de dispositifs, d'outils et de méthodes appropriées, on ne prend souvent conscience qu'après coup, qu'on avait l'information pour anticiper un événement.

Face à un évènement inhabituel mal traité, une bonne administration de la sûreté de fonctionnement aurait permis de s'interroger sur les deux points suivants :

- pourquoi l'organisation actuelle n'a-t-elle pas permis de résister à l'inhabituel ?
- l'évènement inhabituel est-il reproductible ?

En signalisation ferroviaire, l'exploitation des précurseurs concourt au maintien d'un haut niveau de sécurité.

En conséquence, le BEA-TT émet la recommandation suivante :

Recommandation R3 adressée à HITACHI Rail STS :

Formaliser un processus d'exploitation des précurseurs lors des opérations de vérification et validation afin d'en rechercher et traiter les causes profondes.

Le BEA-TT invite les autres industriels fournisseurs de systèmes informatiques concourant à la sécurité des circulations à mettre en œuvre la recommandation R3.

5.5 - L'évaluation de la sûreté de fonctionnement

La règle, lors d'une utilisation rigoureuse du cycle en V, fixe que les vérifications sont doublées de validations effectuées sur la base du besoin exprimé sur le niveau d'intégration sur lequel on se situe. Cette règle est appelée dans les normes CENELEC 50126 et suivantes en tant que « bonne pratique ».

Les profils de vitesse de la traversée 7201-7202 n'ont pas fait l'objet d'une validation sur la base du besoin exprimé, à savoir le plan technique qui décrit de manière détaillée la constitution de la signalisation. La stratégie d'essai en plateforme retenue ne couvrait pas le contrôle des profils de vitesse. L'évaluateur, CERTIFER, n'a pas relevé cet écart avec cette exigence de validation selon les normes CENELEC.

En conséquence, le BEA-TT émet la recommandation suivante :

Recommandation R4 adressée à CERTIFER :

Revisiter la méthodologie de l'évaluation concernant la « validation du système » selon les normes CENELEC 50126 et suivantes afin de garantir la validité de l'évaluation.

5.6 - Les spécificités de la LGV Bretagne-Pays de la Loire

La LGV BPL est la première ligne à grande vitesse à accueillir des trains fret. La ligne est équipée d'appareils de voie à tangente 1/21^e spécifiquement dédiés à ce type de trains. C'est également la première LGV équipée partiellement avec une signalisation, ETCS niveau 1 n'étant installé que sur le contournement du Mans.

L'analyse concernant les aiguilles à vitesse limite 100 km/h est centrée uniquement sur l'homologation du produit. Dans les nombreux documents produits par les diverses parties, SNCF Réseau, ERE, CLERE, CERTIFER et EPSF, ne sont jamais abordés les risques créés par la présence d'aiguilles à tangente 1/21^e dans l'environnement de trains de voyageurs circulant à grande vitesse. Cela est considéré comme normalement couvert par la fiabilité de la signalisation ferroviaire.

Il semble que l'EPSF n'ait pas fait d'investigation sur les risques liés aux circulations des TGV en voie déviée sur ces appareils de voie innovants, car il n'a pas été identifié de la part du demandeur d'autorisation dans son dossier de sécurité leur possible utilisation en service commercial. Les essais dynamiques n'ont pas testé cette spécificité : aucun train d'essai n'est passé sur la traversée 7201-7202 sous ETCS niveau 2 à la vitesse des circulations commerciales. En cela, les essais ont été régulièrement menés : l'évaluateur les déclare conformes au référentiel et l'EPSF ne formule aucun commentaire.

Dans le cadre de la conception d'un système de haut niveau de sécurité, il est nécessaire d'étudier l'impact de l'utilisation d'innovations. L'analyse des risques aurait dû être challengée sur cette innovation de traversée à 100 km/h, associée potentiellement à la mise en œuvre d'essais de nature à vérifier que les risques identifiés étaient bien couverts.

Le BEA-TT remarque qu'il appartient à l'EPSF de s'assurer lors de l'instruction des Autorisations de Mise en Service que l'ensemble des caractéristiques innovantes introduites sur une infrastructure et pouvant avoir un impact ou présenter un risque pour l'exploitation, soit exhaustivement pris en considération et fasse l'objet de la part du demandeur d'une analyse spécifique des risques apportés par ces innovations.

Enfin, lors de ses investigations, le BEA-TT a constaté que le correctif effectué sur le RBC 1 n'avait pas fait l'objet d'une vérification *in situ*. Également, le BEA-TT a identifié une barrière de sécurité sur une nouveauté qui n'a pas fait l'objet d'essai *in situ* : la vitesse-but sous ETCS niveau 1, pour un train circulant sur le contournement du Mans qui serait orienté vers la LGV, paramétrée à 0 Km/h. Cette vitesse-but de 0 km/h nous semble une caractéristique critique qui aurait dû être contrôlée.

Le BEA-TT invite ERE à vérifier en cabine de conduite d'un train :

- *sous ETCS niveau 2 la vitesse-but des traversées 7106-7107, 7201-7202 et 8027-8028 en continuité de la LGV ;*
- *sous ETCS niveau 1 la vitesse-but d'un train qui serait orienté vers la LGV depuis le contournement du Mans.*

5.7 - La qualité des reportings des essais dynamiques

La marche d'essai 3.3 du mardi 25 avril 2017 prévoyait de rentrer sur la LGV par la voie 1 en sens inverse au sens habituel, passer de la voie 1 sur la voie 2 par la traversée du poste 80 située à 200 m en aval du point de commutation TVM-ETCS, repasser de voie 2 sur voie 1 par la traversée 7202-7201 à La Milesse, puis quitter la LGV BPL par la voie 1 en continuant sur la LGV Atlantique sous TVM. Cette marche devait donc passer par la traversée dont la vitesse était mal paramétrée.

Or, par suite d'opportunité opérationnelle, cette marche a circulé de bout en bout par la voie 1 sans passer par la traversée 7202-7201. Aucun des comptes rendus de cette marche d'essai ne mentionne l'écart entre le prévisionnel et le réalisé. Le commanditaire CLERE n'a pas été formellement instruit de ce changement dans les essais.

Dans le cadre d'essais réalisés peu de temps après la catastrophe d'Eckwersheim qui avait révélé un certain déficit dans la préparation et le déroulement d'une campagne d'essai, ce manque de qualité dans la réalisation des essais dynamiques est étonnant. Lors de leurs investigations, les enquêteurs du BEA-TT ont constaté plusieurs autres comptes rendus de marche d'essais incomplets sur les écarts entre le prévisionnel et le réalisé.

Lors d'un évènement non désiré, en particulier un accident, la réalité des essais rapportés est une donnée essentielle pour l'analyse de l'évènement et la compréhension, par croisement, de l'enchaînement des faits et de leurs interactions.

Le BEA-TT invite l'ensemble des maîtres d'œuvre d'essais ferroviaires opérant sur les lignes en projet sur le territoire national à apporter un soin particulier à l'établissement des comptes rendus des essais en ligne.

6 - Conclusions et recommandations

6.1 - Les causes de l'événement

La cause immédiate de la survitesse du TGV 8055 sur la traversée 7201-7202 est l'affichage au DMI en cabine de conduite d'une vitesse maximale autorisée de 170 km/h au lieu de 100 km/h. En conduite sous ETCS niveau 2, le DMI affiche en permanence la vitesse maximale à observer. Le conducteur obéit à cette consigne mise à jour en continu.

Le taux erroné de vitesse affichée provient de trois erreurs dans la production du RBC 1 :

- une première erreur de paramétrage ;
- une deuxième erreur lors de la vérification du paramétrage, erreur par deux fois reproduite puisque cette vérification est double ;
- une troisième erreur, de non-validation du paramétrage des profils de vitesse de la traversée lors des essais de plateforme, doublée de la non-détection par l'évaluateur de la non-conformité du processus aux exigences des normes CENELEC de sûreté de fonctionnement qui imposent cette validation.

Des erreurs similaires de paramétrage ont été détectées et corrigées. Mais elles ont été imparfaitement exploitées, ne permettant pas la correction sur la traversée 7201-7202. Plus généralement, les spécificités de la LGV BPL présentant de nouveaux risques pour l'exploitation n'ont pas toutes fait l'objet d'essais dynamiques.

6.2 - Les recommandations

Recommandation R1 adressée à HITACHI Rail STS :

Revisiter les processus de production « signalisation ETCS » afin de s'assurer qu'une erreur de vérification ne soit pas propagée dans la suite du processus de production.

Recommandation R2 adressée à HITACHI Rail STS :

Étudier l'implémentation d'algorithmes de méthodes formelles dans le cadre de la preuve de sûreté de fonctionnement des systèmes de signalisation.

Recommandation R3 adressée à HITACHI Rail STS :

Formaliser un processus d'exploitation des précurseurs lors des opérations de vérification et validation afin d'en rechercher et traiter les causes profondes.

Recommandation R4 adressée à CERTIFER :

Revisiter la méthodologie de l'évaluation concernant la « validation du système » selon les normes CENELEC 50126 et suivantes afin de garantir la validité de l'évaluation.

Le BEA-TT invite les industriels fournisseurs de systèmes informatiques concourant à la sécurité des circulations à mettre en œuvre la recommandation R2 et la recommandation R3.

Le BEA-TT invite ERE à vérifier en cabine de conduite d'un train :

- sous ETCS niveau 2 la vitesse-but des traversées 7106-7107, 7201-7202 et 8027-8028 en continuité de la LGV ;*
- sous ETCS niveau 1 la vitesse-but d'un train qui serait orienté vers la LGV depuis le contournement du Mans.*

Le BEA-TT invite l'ensemble des maîtres d'œuvre d'essais ferroviaires opérant sur les lignes en projet sur le territoire national à apporter un soin particulier à l'établissement des comptes rendus des essais en ligne.

ANNEXES

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête

Annexe 2 : Comptes rendus de la marche 3.3 – 115-5

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête



La Défense, le 6 janvier 2020

DECISION

Le directeur du bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre,

Vu le Code des transports et notamment les articles L. 1621-2 à L. 1622-2 et R. 1621-1 à R. 1621-26 relatifs, en particulier, à l'enquête technique après un accident ou un incident de transport terrestre ;

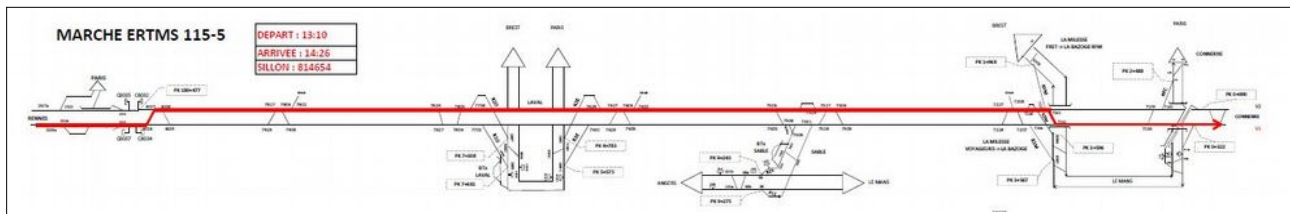
Vu les circonstances du dépassement de la vitesse autorisée par un train à grande vitesse survenu le 22 décembre 2019 à La Milesse (72) ;

décide

Article 1 : Une enquête technique est ouverte en application des articles L. 1621-2 et R. 1621-22 du Code des transports concernant le dépassement de la vitesse autorisée par le TGV n°8055 sur la ligne Bretagne-Pays de la Loire survenu le 22 décembre 2019 à La Milesse dans la Sarthe.

Jean PANHALEUX

Annexe 2 : les comptes rendus de la marche d'essai 3.3 - 115-5



Vue 20 : la marche 115-5

Le compte rendu dressé par SNCF :

Départ en STM France KVB sur voie 1 à Rennes
 Lecture BG 139 (PI recodo)
 Lecture BG 137 (PI inscription réseau)
 Lecture BG 133 (PI connexion) → Connexion au RBC1
 Lecture BG 524 (PI annonce) → MA de 18900 m avec paquet 68 (BP) et paquet 39
 Au PLD Passage en FS N2 à 145 km/h, **affichage fugitif BP (bug bord paquet 68 et 39)**
 Circule en FS sur BPL
 Transition en TVM à 210 km/h

Le compte rendu dressé par HITACHI Rail STS

| | |
|--|--|
| <p>Marche 3.3 (115-5) : La LTV 80 sur la voie 1 à Connerre a été retirée. 13h11 : Départ de Rennes (départ en KVB) Établissement de la communication avec le RBC4 20 sec Circulation en voie 1 13h16 : Transition vers ERTMS N2 FS160 à 153 km/h (toujours le même phénomène d'ouverture DJ au PLD) Circulation limitée à 220 km/h jusqu'au pk 127 13h54 : FS 320 à 311 km/h jusqu'au pk 12</p> | |
| <p>13h56 : Transition vers STM France V1 à 220 km/h (en contre sens) 14h11 : Fin de Marche au Plessy</p> | |

Nota : Plessy est le premier point de changement de voie sur la LGV Atlantique côté Le Mans



Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre



Grande Arche - Paroi Sud
92055 La Défense cedex

Téléphone : 01 40 81 21 83

Télécopie : 01 40 81 21 50

bea-tt@developpement-durable.gouv.fr

www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité