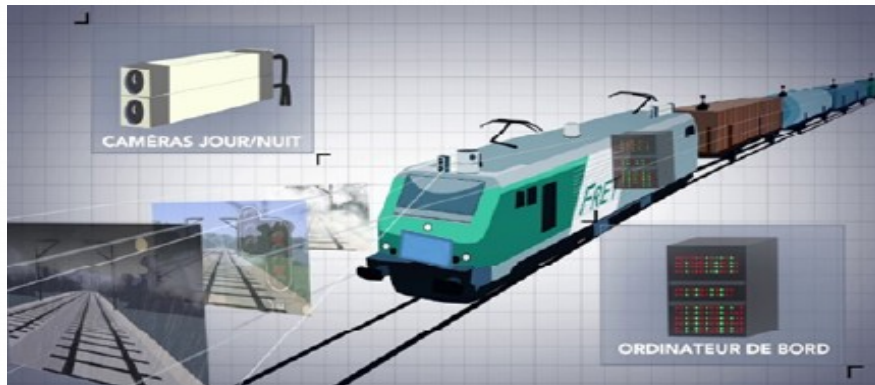


NOTE DU CREOGN

Centre de Recherche de l'École des Officiers de la Gendarmerie Nationale

Numéro 44 – Décembre 2019

LCL (RC) Patrick MERVENT et ASP Axel LEMOINE



TRAINS AUTONOMES : ENJEUX ET PERSPECTIVES

À l'instar de ce qui se développe dans l'industrie automobile, un changement de paradigme s'opère dans le ferroviaire pour la conduite des trains. Aujourd'hui encore, c'est l'homme qui est au cœur des décisions, accompagné par des « boucles de rattrapage » prévues pour contrôler son action. L'humain reste donc aux commandes alors que le dispositif technique assure, en arrière-plan seulement, le bon déroulement de la mission.

Cependant, les automatismes basculent de plus en plus au premier plan avec un décisionnel relevant d'une intelligence artificielle. Les projets actuels, tant ceux de la SNCF que ceux des acteurs privés, témoignent de la volonté d'une automatisation croissante des vecteurs ferroviaires, dans le but d'atteindre le plus tôt possible l'autonomie totale des trains sur des lignes de chemin de fer stratégiques.

Si la mise en place d'une telle technologie présente sans surprise des défis techniques à relever, il ne faudrait pas pour autant perdre de vue que le ressenti des usagers vis-à-vis de ces avancées impressionnantes incarne toute une problématique inhérente au bouleversement sociétal provoqué par la transformation radicale de tout un secteur (comme c'est le cas de l'IA pour l'informatique, ou des prouesses de la génétique pour la médecine) : aura-t-on confiance en un train sans conducteur ? Quel avenir pour les métiers actuels ? Et surtout, pourquoi les industriels et les opérateurs se mobilisent-ils pour les trains autonomes ?

I) Un enjeu concurrentiel vital

Les avancées cruciales que sont la découverte de la machine à vapeur, l'invention de l'automobile ou l'avènement de l'informatique, partagent une même condition *sine qua non* relevant d'un intérêt économique majeur. Il en est de même aujourd'hui pour le concept de train autonome.

La SNCF doit aujourd'hui faire face à la libéralisation croissante du ferroviaire¹ dont la Suède est pionnière². Il faudra en effet répondre à la nécessité de baisser le prix du billet, ce qui semble inévitable au vu de l'illustration tchèque³. La mise en circulation de trains autonomes est l'une des solutions envisagées par la SNCF pour réduire ses coûts d'exploitation et devenir concurrentielle.

La mise en service de ces trains autonomes permettra également à la SNCF d'améliorer le rendement de lignes existantes en y faisant circuler plus de trains. Les lignes à grande vitesse étant déjà pour la plupart saturées, le train autonome offre la promesse de fluidifier (et donc de densifier) le trafic. Il permettra « une meilleure

1 Rendue obligatoire par la directive 2007/58/CE du Parlement européen.

2 La Suède est le premier pays à avoir séparé la gestion des voies de la circulation des trains (comme c'est le cas en France aujourd'hui). Les coûts d'exploitation ont baissé de 10 % dans la décennie qui a suivi la dérégulation.

3 Le prix du billet entre Prague et Ostrava a chuté de 61 % depuis la fin du monopole de la compagnie publique en 2011.

régularité et une plus grande ponctualité des trains » selon l'ancien président de la société, Guillaume Pepy. Luc Laroche⁴ prévoit de passer de 13 à 16 trains par heure sur la ligne à grande vitesse Paris-Lyon⁵, en y introduisant des trains d'un niveau d'autonomie GOA 2 (pour « Grade of Automation » 2)⁶. L'exploitation optimale des lignes évite la construction de nouvelles voies, représentant un coût financier et environnemental toujours plus important.

Si la France était jusqu'à aujourd'hui l'un des seuls pays européens à avoir autant maintenu les petites lignes ferroviaires en vie, le rapport Spinetta⁷ dénonce leur rendement et usage trop faibles par rapport à leur coût d'entretien. Le train autonome pourrait leur redonner de la rentabilité, comme en témoigne le projet Taxirail du président d'EXID C&D espérant dynamiser cette partie du réseau français, en allant jusqu'à diviser leur coût par trois⁸. Le projet, pour le moment en grande partie confidentiel, reposerait sur un train de niveau GOA 4 de 40 places, plus léger et rapide, électrique ou hybride, d'une autonomie d'environ 50 km. Le concept de « transport à la demande » est ainsi à l'étude, et promet de rendre actives ces lignes « déficitaires », même en dehors des heures de pointe.

Devant l'imminence de l'ouverture à la concurrence du réseau français, les industriels et opérateurs se mobilisent pour la conception de trains autonomes. Si cette solution semble résoudre l'équation économique, il faut non seulement considérer les difficultés techniques mais aussi les défiances des usagers qu'il faudra surmonter pour parvenir à la concrétisation de ces projets.

II) Quels défis le train autonome devra-t-il relever ?

Viennent en tout premier lieu les problèmes techniques. L'automatisation du réseau métropolitain est maîtrisée (à l'exemple des lignes 1 et 14 à Paris qui circulent sans conducteur), mais cette technologie ne peut pas être transposée telle quelle au secteur ferroviaire. Si la lecture de la signalisation peut s'inspirer des solutions développées pour le métro, il faut prendre en compte le fait que les voies continueront à être utilisées par des trains non autonomes. Cette situation impose que les trains autonomes embarquent toute l'intelligence artificielle de conduite pour s'adapter aux infrastructures existantes plutôt que de mettre en place une seconde signalisation qui leur serait dédiée sur l'ensemble des infrastructures, ce qui représenterait un coût et des travaux pénalisants. Par ailleurs, les trains sont davantage exposés aux aléas de l'environnement extérieur, rapprochant les défis à relever de ceux de la voiture autonome, en y ajoutant les contraintes d'une distance de freinage considérable et l'absence de toute capacité d'évitement. Tout ceci impose une capacité de détection des obstacles et incidents à plusieurs kilomètres de distance⁹, ce qui est bien au-delà des capteurs développés pour la voiture autonome. Enfin, les technologies envisagées devront contenir tout un panel d'objets connectés, rendant dès lors les trains autonomes vulnérables aux cyberattaques aux conséquences potentiellement catastrophiques. Les garanties de protection de ces systèmes constitueront un élément clef de leur validation.

Ces difficultés techniques apparaissent toutefois moins complexes à surmonter que la question de l'acceptabilité d'une telle technologie, à la fois par les usagers, par les cheminots qui verraient leur fonction transformée, voire supprimée, et par les autorités en charge de la régulation des transports ferroviaires. Guillaume Pepy qui

4 Directeur du projet Train Automatique à la SNCF.

5 WASSERMAN, Maia, Le train autonome est sur les rails, *Le Parisien*, 29 novembre 2018. Disponible sur : <http://www.leparisien.fr/economie/le-train-autonome-est-sur-les-rails-29-11-2018-7948737.php>

6 L'Union Internationale des Transports Publics (UITP) distingue cinq niveaux d'automatisme incrémentiels : GOA 0 (train conduit à vue), GOA 1 (un automatisme contrôle la vitesse), GOA 2 (démarrage et arrêts automatisés), GOA 3 (fonctions de conduite automatiques mais présence d'un chef de bord en capacité de reprendre le contrôle) et GOA 4 (train totalement autonome, sans personnel).

7 Intitulé « L'avenir du Transport ferroviaire » et remis au premier ministre le 15 février 2018.

8 VAILLANT, Julien, Taxirail, Un train autonome pour sauver les petites lignes ferroviaires ?, *Le Télégramme*, 19 novembre 2018. Disponible sur : <https://www.letelegramme.fr/soir/taxirail-un-train-autonome-pour-sauver-les-petites-lignes-ferroviaires-04-01-2019-12160142.php>

9 Une double rame TGV de 1 000 tonnes à 200 km/h mettra 1 300 m pour s'arrêter. Cette distance d'arrêt passe à au moins 3 km si le train est lancé à 300 km/h.

envisage une mise en circulation dès 2025¹⁰ a parfaitement conscience de cet enjeu et compte sur les premières expérimentations en exploitation réelle pour lever les doutes.

L'utilisation croissante des technologies, et de l'intelligence artificielle en particulier, relance inmanquablement le débat sur la place de l'humain et les risques pour l'emploi. Historiquement, si chaque révolution industrielle a amené à la suppression de certains emplois, les nouvelles technologies découvertes gardaient un besoin de maintenance et d'amélioration perpétuelle par des techniciens et des spécialistes. Mais Luc Laroche se veut rassurant : « On verra apparaître de nouveaux métiers, comme ceux de téléconducteur ou de superviseur »¹¹ et si certains emplois disparaissent, d'autres se créent pour la conception et la maintenance de ces nouveaux matériels. Si l'on peut en déduire qu'il existera toujours un besoin de « savoir-faire humain » dans le domaine, la reconversion progressive des contrôleurs et conducteurs reste à construire.¹²

Concernant la réglementation, l'État et l'Union européenne devront renforcer le cadre normatif entourant la sécurité ferroviaire, ce qui aura pour conséquence de complexifier la mise en œuvre de nouvelles technologies, tant les normes de sécurité à respecter et les autorisations nécessaires se sont multipliées. Le train autonome n'échappera pas à ce long et pointilleux processus de validation. En effet, chaque composante de la technologie sera soumise à différents bancs d'essais techniques pour obtenir l'approbation de l'Établissement public de sécurité ferroviaire (EPSF) qui délivre ou pas une Autorisation de mise en exploitation commerciale (AMEC) pour rouler sur le réseau ferré national. Cette « certification » sera également à obtenir de la part des nos voisins ou au niveau européen pour les trains transfrontaliers.

III) Point de situation en France et à l'étranger

Pour concevoir et développer le train autonome en France, deux consortiums ont été créés en 2019, pour une durée de cinq ans¹³. Tous deux pilotés par la SNCF et l'IRT Railenium¹⁴, l'un est dédié à la réalisation d'un prototype de train de fret autonome ; l'autre a la charge d'automatiser un TER. Notons que l'enjeu de cybersécurité n'a pas été négligé, la société Apsys étant chargée de travailler sur les solutions à apporter.

En France, un essai en condition réelle de l'automatisation des fonctions de lecture de la signalisation latérale des voies a été réalisé au cours de l'été 2019. Pour cela, un démonstrateur équipé de capteurs (caméra, caméra infrarouge, radar, lidar...) a effectué des tests de lecture de signaux sur la ligne Villeneuve Saint Georges - Montereau. Grâce à une base de données cartographique embarquée et à la localisation du train en temps réel, celui-ci connaît précisément la position des signaux qu'il croisera. À l'approche d'un signal, le capteur l'identifie et l'interprète. Si le système de lecture n'a pas encore atteint le niveau de performance sécuritaire absolu, l'expérimentation est considéré comme un succès : les capteurs interprètent correctement les signaux et transmettent au train l'information pour la mise en œuvre de la bonne procédure. Le système va poursuivre son développement et s'améliorer pour passer du démonstrateur au prototype et être intégré au prototype de train de fret autonome.

Hors Union européenne, la Russie a procédé à un test de train autonome à l'été 2019 lors de la foire du chemin de fer. Il a transporté les principaux dirigeants et responsables des chemins de fer russes ainsi que le vice-Premier ministre aux environs de Moscou. Durant le voyage, une situation d'urgence a été simulée : le véhicule s'est arrêté avec succès après avoir détecté un mannequin allongé sur les rails. Des capteurs à ultrasons doublés de caméras vidéo permettant une vision par ordinateur assurent au train un freinage en douceur et un arrêt automatique avec une précision de 50 cm. Pour autant, le transport de passagers par les trains autonomes n'est pas prévu à ce stade. Si le rôle des conducteurs s'en trouve modifié, la surveillance des systèmes restera pour

10 GLISZCZYNSKI, Fabrice, La SNCF se lance dans l'aventure du train autonome : les voyageurs seront-ils prêts ? *La Tribune*, 12 septembre 2018. Disponible sur : <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/services/transport-logistique/la-sncf-se-lance-l-aventure-du-train-autonome-les-voyageurs-seront-ils-prets-790236.html>

11 LEGRAND, Baptiste, Faut-il avoir peur du train sans conducteur ?, *L'Obs*, 12 septembre 2018. Disponible sur : <https://www.nouvelobs.com/economie/20180912.OBS2237/faut-il-avoir-peur-du-train-sans-conducteur.html>

12 Les questions de sécurité posées par les voyageurs et les craintes des travailleurs vis-à-vis de la perte de leur emploi font écho à la monographie de Marlène Bel relative à l'acceptabilité du véhicule autonome.

13 Toutes les informations relatives à ces consortiums sont disponibles sur le dossier de presse de la SNCF : https://www.sncf.com/sites/default/files/press_release/dossier_de_presse_train_autonome-11092018-v7.pdf

14 L'Institut de recherche technologique coordonne la réalisation de projets d'innovation répondant aux enjeux de la filière ferroviaire en lien avec les pouvoirs publics.

l'homme, a souligné le directeur général des chemins de fer russes. Ce train automatisé pourra être commandé depuis la cabine par le conducteur ou depuis le centre de contrôle par le contrôleur de la circulation. L'équipe de développement va tester et surveiller la technologie pendant plusieurs mois afin d'exploiter les résultats pour perfectionner l'apprentissage des algorithmes et les améliorer en continu.

En octobre 2017, en Australie, la société des mines Rio Tinto lançait son premier train sans conducteur dans l'ouest désertique du pays sans rencontrer de problème¹⁵. Ce train, réservé aux mineurs et à des chargements de minerais, préfigure un projet plus ambitieux de transport autonome entre le lieu d'extraction et les sites industriels d'exploitation.

L'horizon de 2025 fixé en France pour les premiers trains autonomes apparaît ambitieux mais l'aiguillon de l'ouverture à la concurrence au cours de la prochaine décennie va puissamment réformer le paysage et les usages ferroviaires. Le train autonome n'est en effet pas la seule innovation perceptible à moyen terme.

IV) Quelles autres innovations pour le transport ferroviaire ?

Si Guillaume Pepy avouait récemment ne pouvoir prédire ce que seraient les modalités de mobilité à l'horizon 2049, il était en revanche plus affirmatif à propos de la place de l'hyperloop : « Il existera au moins pour les marchandises en 2049 ». L'hyperloop est un projet de recherche, lancé par Elon Musk en 2013, de train à sustentation magnétique (pas de friction avec le rail), propulsé par un champ magnétique dans un tube à très basse pression (réduction de la résistance de l'air)¹⁶. L'enjeu est de réduire la quantité d'énergie nécessaire au déplacement du train et lui permettre d'atteindre des vitesses dépassant les 600 km/h en réduisant un maximum les frottements avec l'environnement (rail et air).

L'Asie (Chine, Corée du Sud, Japon) met en œuvre également la technologie de la sustentation magnétique avec les trains « Maglev » pour « *Magnetic Levitation* », avec un record du monde de vitesse pour le train japonais.

À l'origine de la première révolution industrielle avec le train à vapeur il y a près d'un siècle et demi, le vecteur ferroviaire continue d'innover pour conserver sa place, voire gagner des parts de marché dans les modalités de mobilité du XXI^e siècle, en mettant en avant un bilan carbone honorable. Les forces de l'ordre devront accompagner ces évolutions pour mener à bien leurs investigations lors d'accidents ferroviaires impliquant ces trains autonomes. Il sera indispensable de développer des outils et des méthodologies spécifiques. Le partenariat noué de longue date entre la gendarmerie et la SNCF devrait faciliter cette transition technologique, notamment si les besoins des forces de l'ordre sont intégrés dès la conception des matériels.

Webographie :

SNCF, Des trains entièrement automatiques en circulation dès 2023. Disponible sur : <https://www.sncf.com/fr/innovation-developpement/innovation-recherche/trains-autonomes-circuleront-en-2023>

SNCF, La signalisation ferroviaire. Disponible sur : <https://www.sncf.com/fr/itineraires-reservation/informations-traffic/reportages/signalisation-ferroviaire>

RATP, Des lignes de métro centenaires totalement automatisées, 3 mai 2017. Disponible sur : <https://www.ratp.fr/groupe-ratp/ingenierie/des-lignes-de-metro-centenaires-totalement-automatisees>

Établissement public de sécurité ferroviaire, Rapport annuel sur la sécurité des circulations ferroviaires 2018, octobre 2019. Disponible sur : <https://securite-ferroviaire.fr/les-donnees-chiffrees-de-la-securite/rapport-annuel-sur-la-securite>

Le contenu de cette publication doit être considéré comme propre à ses auteurs et ne saurait engager la responsabilité du CREOGN.

15 PROUILLAC, Nicolas, SCHEUER, Arthur, Ce train autonome australien est le plus grand robot au monde, *Ulyces*, 29 décembre 2018. Disponible sur : <https://www.ulyces.co/news/ce-train-autonome-australien-est-le-plus-grand-robot-au-monde/>

16 À ce sujet, des compétitions sont organisées entre les universités du monde entier. L'Allemagne (Technical University of Munich) et la Suisse (EPFL) sont les pays les plus récompensés.