

Trains automatiques, ATO en Suisse

Dossier du syndicat suisse des mécaniciens de locomotive et aspirants (VSLF) sur « l'Automatic Train Operation » (ATO) dans le domaine ferroviaire en Suisse



Rédacteurs :

Hubert Giger, Président VSLF

Rahel Wyss, Comité central VSLF (responsable CFF Voyageurs et communication)

Contributeurs :

Raoul Fassbind, Comité central VSLF (responsable CFF Voyageurs et infrastructure)

Marc Engelberger, Comité central VSLF (responsable Suisse Romande)

De plus amples informations sont disponibles sur le site internet du VSLF : www.vslf.com

15 mars 2025

Table des matières

1. PRÉAMBULE	3
2. INTRODUCTION	3
3. DÉFINITIONS DE L'ATO / DES GOA	3
3.1 NIVEAUX DE DÉVELOPPEMENTS	3
3.2 PRINCIPES	4
3.3 PRÉREQUIS	4
3.4 INDICATIONS DE L'OFFICE FÉDÉRAL DES TRANSPORTS (OFT)	5
4. DEGRÉS D'AUTOMATISATION (GOA) DE L'ATO	5
4.1 GRADE OF AUTOMATION 0 (ON-SIGHT TRAIN OPERATION)	5
4.2 GRADE OF AUTOMATION 1 (NON-AUTOMATED TRAIN OPERATION)	5
4.3 GRADE OF AUTOMATION 2 (SEMI-AUTOMATIC TRAIN OPERATION)	6
4.4 GRADE OF AUTOMATION 3 (DRIVERLESS TRAIN OPERATION)	6
4.5 GRADE OF AUTOMATION 4 (UNATTENDED TRAIN OPERATION)	6
5. UTILISATION DE L'ATO EN SUISSE	6
5.1 MÉTRO DE LAUSANNE / AÉROPORT DE ZÜRICH	6
5.2 WALDENBURGERBAHN (WB)	7
5.3 ESSAI D'EXPLOITATION DU SÜDOSTBAHN (SOB)	8
5.4 AUTRES UTILISATIONS DE L'ATO	8
5.5 UTILISATION DE L'ATO LORS DE COURSES DE MANŒUVRE	8
6. GOA2, AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS	9
6.1 AUGMENTATIONS DE CAPACITÉ	9
6.2 CIRCULATION PLUS RAPIDE LE LONG DES COURBES DE FREINAGE DES DISPOSITIFS DE SÉCURITÉ	10
6.3 PRÉCISION DES POINTS D'ARRÊT	10
6.4 ÉCONOMIES D'ÉNERGIE	11
6.5 RESPONSABILITÉ DU PERSONNEL DES LOCOMOTIVES	11
6.6 CONSIDÉRATIONS GLOBALES EN LIEN À L'ATO	13
7. CONFLITS ENTRE LES « HUMAN AND ORGANISATIONAL FACTORS » (HOF) ET GOA2	13
7.1 MONOTONIE DU TRAVAIL DU PERSONNEL DES LOCOMOTIVES	13
7.2 SOLUTIONS PROPOSÉES PAR LES ENTREPRISES DE TRANSPORT FERROVIAIRE	14
7.3 POINT DE VUE DE LA RECHERCHE	15
7.4 RECRUTEMENT FUTUR DE PERSONNEL DES LOCOMOTIVES EN CAS MISE EN ŒUVRE DE L'ATO	16
8. SOLUTIONS AVEC ATO	17
9. CONCLUSIONS EN LIEN À L'ATO EN SUISSE	17
9.1 POSSIBILITÉS TECHNIQUES EN LIEN À L'ATO	17
9.2 ASPECTS HOF EN LIEN À L'ATO	18
9.3 CONSIDÉRATIONS GLOBALES	18
10. GLOSSAIRE	20

1. Préambule

Le syndicat suisse des mécaniciens de locomotive et aspirants VSLF est composé exclusivement de personnel des locomotives actif ou retraité. Cela lui permet de prendre objectivement position sur les développements techniques, les concepts théoriques ainsi que les essais pratiques d'exploitation en lien à l'automatisation ferroviaire. De plus, cela lui permet d'avoir une relation directe avec les influences et aspects du quotidien de la conduite des trains ainsi que de la réalité ferroviaire.

Des informations mises à jour et plus détaillées peuvent être consultées sur le site www.vslf.com. Le VSLF se tient volontiers à disposition pour toute demande concrète ou pour un échange.

2. Introduction

Ce travail se concentre sur les domaines d'application de l'Automatic Train Operation (ATO) pour les chemins de fer à voie normale en Suisse. Il s'agit de chemins de fer à voie normale dotés de matériel roulant varié, d'un trafic mixte, d'une infrastructure complexe, de voies ferrées ouvertes et de quais dégagés.

Ce dossier a pour but de mettre en évidence différentes réflexions et intentions concernant l'ATO ainsi que les Grade of Automation (GoA, respectivement niveaux d'automatisation) auprès des chemins de fer suisses et d'en débattre dans une perspective pratique. Il s'adresse à toutes les personnes intéressées par les chemins de fer, des utilisateurs aux responsables de l'industrie en passant par les législateurs. L'objectif est de confronter les aspects positifs et négatifs de l'automatisation ferroviaire et de mettre en lumière les questions controversées en termes d'utilité, de défis possibles et de conséquences attendues de ces divers systèmes.

3. Définitions de l'ATO / des GoA

3.1 Niveaux de développements

Les chemins de fer semblent prédestinés à l'exploitation de trains sans conducteur. En principe, les trains sont guidés par des rails et des aiguillages ; le personnel des locomotives ou de conduite commande uniquement l'accélération et la décélération pendant le trajet. Il exerce également des fonctions de surveillance et de service à la clientèle.

Hormis les systèmes fermés avec des infrastructures génériques comme les métros et les chemins de fer industriels, les trains automatiques sans personnel (GoA4) ne sont pas encore exploités au quotidien sur les réseaux mixtes à voie normale. Les trains automatiques avec du personnel dans la cabine de conduite ou à bord (GoA3) ne sont pas encore utilisés en service normal, du moins en Europe.

3.2 Principes

Le chemin de fer est en principe un système très sûr¹. Les postes d'aiguillage équipés de systèmes d'occupation des voies libèrent celles-ci lorsqu'elles sont libres et cela est indiqué au personnel des locomotives au moyen de signaux. Il existe différents systèmes techniques pour surveiller la circulation des trains. D'une part, au moyen de compteurs d'essieux, d'isolations ou de circuits de voie pour vérifier la position des convois ; d'autre part, au moyen de systèmes de sécurité / de contrôle de la marche des trains pour garantir le respect des vitesses et des images de signaux.

En principe, c'est le personnel de locomotive qui est responsable de la conduite du train ; il doit en premier lieu respecter les signaux et déterminer et respecter les vitesses en vigueur. Si des systèmes techniques doivent prendre en charge ces tâches, les informations relatives aux autorisations de conduite (signaux) et aux vitesses doivent être transmises directement aux véhicules.

Les niveaux d'automatisation ATO GoA3/4 ne peuvent pas être atteints sans une surveillance permanente et complète de la circulation des trains. Pour tous les degrés d'automatisation ATO inférieurs, le personnel des locomotives assume donc au moins une partie de la responsabilité du trajet. Les définitions et les bases juridiques relatives aux responsabilités ne sont toutefois pas encore totalement au point et font l'objet d'un développement constant.

3.3 Prérequis

Les capacités et les fonctions des systèmes de sécurité / de contrôle de la marche des trains sont classées par niveaux, à partir desquels il est possible de déduire les capacités d'automatisation desdits systèmes. Pour une surveillance technique complète, le niveau de sécurité SIL4 (Safety Integrity Level) doit impérativement être atteint. Actuellement, en Europe, seuls le niveau 2 de l'ETCS, le TVM et le système LZB atteignent ce niveau SIL4². Ainsi, une conduite sans conducteur sur une infrastructure mixte à voie normale ne serait possible que lorsque ce sont ces systèmes de sécurité qui sont présents. Il est à noter que les métros – qui sont parfois déjà parfaitement autonomes – utilisent souvent d'autres systèmes, comme le système « Urbalis » d'Alstom³.

Il faut en outre partir du principe que pour une exploitation entièrement automatique, l'ensemble du tracé ferroviaire devrait être fermé à tout accès non autorisé et que les

¹ Office Fédéral des Transports OFT, [Rapports sur la sécurité](#)

² Deutsches Eisenbahn-Bundesamt, [Nationaler Umsetzungsplan ETCS \(Version 1.11\)](#)

³ Alstom, [Alstom CBTC range : world leading high-capacity signalling](#)

quais devraient être équipés de portes palières. Les systèmes d'assistance technique, basés par exemple sur des caméras ou des capteurs, ne seraient guère en mesure de distinguer avec suffisamment de précision les situations dangereuses de celles qui ne le sont pas et interviendraient donc en principe soit trop souvent, soit - ce qui est bien plus problématique - trop peu souvent.

3.4 Indications de l'Office fédéral des transports (OFT)

Dans sa communication stratégique, l'OFT a mentionné que l'objectif principal de l'automatisation ferroviaire devait en premier lieu être le soutien du personnel des locomotives au moyen de systèmes d'assistance. C'est pourquoi l'OFT encourage des essais ciblés de systèmes d'assistance et de trains automatiques. Selon sa propre communication, l'OFT souhaite que le secteur ferroviaire suisse se concerte et se coordonne davantage⁴.

La définition du niveau d'automatisation GoA2 par l'OFT est à ce sujet intéressante :
« GoA2 automatise la conduite et le conducteur ou la conductrice de locomotive n'est plus responsable du respect de la signalisation et de l'accélération/du freinage du train. Néanmoins, un conducteur ou une conductrice formé(e) est présent(e) dans la cabine de conduite et est responsable d'autres tâches telles que le déclenchement de la marche (ordre de départ), la commande des portes ou la détection d'obstacles sur la voie (p. ex. animaux). Si nécessaire, ils ou elles reprennent le contrôle du convoi ».

La question de l'attribution de la responsabilité est le point clé de cette définition. En effet, sur la base de celle-ci, les entreprises de transport ferroviaire tout comme l'industrie sont invitées à assumer la responsabilité du fonctionnement sûr des systèmes liés à l'ATO.

4. Degrés d'automatisation (GoA) de l'ATO

4.1 Grade of Automation 0 (on-sight train operation)

GoA0 se définit comme la situation de départ en exploitation normale avec une conduite manuelle par le personnel des locomotives, sans influence d'un système de contrôle de la marche des trains. Il représente le niveau de repli des quatre autres niveaux d'automatisation.

4.2 Grade of Automation 1 (non-automated train operation)

GoA1 correspond à la conduite manuelle du personnel des locomotives sous observation des signaux et surveillance d'un système de contrôle de la marche des trains. Le personnel de conduite règle alors la marche et la commande des portes. Il existe différentes variantes de la forme de surveillance ; de la forme ponctuelle à la surveillance totale.

⁴ Office Fédéral des Transports OFT, [OFT News numéro 99](#)

4.3 Grade of Automation 2 (semi-automatic train operation)

GoA2 désigne un niveau d'automatisation intermédiaire, dans lequel le train roule de manière automatisée, mais où la commande des portes reste du ressort du personnel des locomotives. On distingue différents modes de conduite entre le mode piloté et les trains entièrement autonomes. En principe, le personnel roulant peut intervenir en tout temps, même lorsque c'est le système qui est en charge de la conduite. Ce niveau nécessite la présence de personnel des locomotives formé de manière appropriée au mode d'exploitation.

4.4 Grade of Automation 3 (driverless train operation)

GoA3 représente une forme d'exploitation sans conducteur entièrement automatisée, dans laquelle le personnel des locomotives exerce d'autres activités. Ce niveau d'automatisation est envisageable lorsque la surveillance des trains est intégrale, par exemple sur des tronçons équipés de l'ETCS Level 2. Pour des circulations à travers les tunnels du Lötschberg ou de la Vereina, il se pourrait que le départ des trains autos se fasse en GoA0/1 et que, une fois arrivés dans le tunnel, où il n'y a pratiquement pas d'influences externes, la poursuite de la circulation en GoA2/3 soit envisageable. Jusqu'à présent, il n'y a cependant guère de réflexions à ce sujet, ce qui peut être lié à la complexité et aux importants investissements financiers nécessaires pour la mise en œuvre de ces systèmes.

4.5 Grade of Automation 4 (unattended train operation)

Le niveau d'automatisation GoA4 pour le trafic mixte sur voie normale constituerait une véritable innovation. Il permettrait de se passer complètement de personnel de conduite/de bord. Toutefois, ce système présuppose une surveillance complète ; or, les systèmes permettant d'atteindre une telle surveillance (ETCS Level 2 en Suisse) ne sont encore présents que sur quelques lignes et n'ont jusqu'à présent été implémentés dans aucun nœud ferroviaire d'importance.

Les entreprises de transport ferroviaire pourraient profiter de ce niveau d'automatisation complet en raison des économies réalisées sur les charges de personnel. Toutefois, comme de plus en plus de trains doivent impérativement circuler avec du personnel d'accompagnement en raison de certaines prescriptions en lien à la protection contre les incendies ou certains concepts d'évacuation spécifiques, ces idées et économies deviendraient en partie obsolètes. En effet, selon les prescriptions actuelles, si les normes en lien à la protection incendie ne sont pas respectés, les convois ne peuvent simplement pas emprunter certains tronçons. Parallèlement, les exigences en matière de gestion des perturbations ainsi que la capacité d'intervention de personnel formé dans des situations extraordinaires représentent des défis importants.

5. Utilisation de l'ATO en Suisse

5.1 Métro de Lausanne / Aéroport de Zürich

Le système ferroviaire automatique le plus connu en Suisse est la ligne « m2 » des TL qui a été inaugurée le 27 octobre 2008. Le système de signalisation automatique Urbalis300 d'Alstom est utilisé sur cette ligne, comme c'est le cas par exemple pour le métro de Singapour. La ligne de métro « m2 » est composée de rames automotrices sans conducteur, qui disposent toutefois d'un pupitre de commande pour le pilotage en cas d'urgence. En cas de panne, les rames peuvent être prises en charge par du personnel formé, qui doit être opérationnel sur place en 10 minutes environ⁵. Le « m2 » se caractérise par une forte pente continue de 5,7% en moyenne, que les trains franchissent au moyen de pneus en caoutchouc sur une chaussée en béton parallèle aux voies. De même, le tracé est largement isolé des influences extérieures et les quais sont équipés de portes palières.

Le Skymetro de l'aéroport de Zurich est un funiculaire sur coussins d'air, entièrement automatique, réalisé en souterrain et entraîné par câbles, qui relie depuis septembre 2003 le terminal principal de l'aéroport au terminal E. Le tracé du funiculaire est long de 1,1 kilomètre et passe par deux tubes de tunnel séparés.

Ces deux systèmes automatiques sous GoA4 ne sont comparables ni entre eux ni avec un trafic ferroviaire mixte sur un réseau à voie normale et constituent donc des solutions individuelles spécifiques utilisant une infrastructure nouvelle.

5.2 Waldenburgerbahn (WB)

Le Waldenburger Bahn (WB) a été remis en service le 11 décembre 2022 après un an et demi de transformation totale, avec une nouvelle infrastructure et un matériel roulant uniforme. La ligne a été équipée d'un système de contrôle des trains CBTC de Stadler Signalling. Actuellement, les trains circulent avec un niveau d'automatisation GoA1 étendu ; dans la zone de dépôt de Waldenburg, il est même prévu que les convois circulent prochainement en GoA4⁶. Le système CBTC pourrait en principe être une base pour tous les degrés d'automatisation et fonctionne en SIL4. Il est basé sur un système de « moving blocks »⁷ et fonctionne avec un système radio basé sur la technologie WLAN. Cette technologie comporte de nouveaux risques en matière de cybersécurité, qui doivent impérativement être pris au sérieux.

Après quelques problèmes initiaux, le système fonctionne de manière fiable et convient à des conditions simples et limitées. Selon le fabricant, il n'est guère possible de réaliser des transports complexes en exploitation mixte et ce système n'a pas non plus été prévu à cet effet. De même, les différents états des véhicules ainsi que les défauts sont complexes à maîtriser et conduisent rapidement à des besoins accrus en maintenance et à un management compliqué de la flotte. La gestion des perturbations est également très contraignante, car l'exploitation ferroviaire doit être entièrement interrompue pour dégager la ligne des véhicules qui y circulent.

⁵ Transports publics de la région lausannoise, [Banc public spécial métro M2, portes ouvertes](#)

⁶ Schweizer Eisenbahn Revue SER 1/2023, [Unklare Lage bei der Waldenburgerbahn](#)

⁷ Transportation Research Part C: Emerging technologies, [Real-time railway traffic management under moving-block signalling : A literature review and research agenda](#)

5.3 Essai d'exploitation du Südostbahn (SOB)

Après divers essais et courses d'essai, le SOB prévoit de réaliser en 2025 un essai d'exploitation avec son système d'assistance à la conduite AFAS. Ce système doit permettre une exploitation partiellement automatisée (ATO GoA2) sous ETCS L1 Limited Supervision. La responsabilité de la conduite reste cependant entièrement entre les mains du personnel des locomotives⁸.

Cette définition - contrairement aux indications concernant le GoA2 de l'OFT, présentées au chapitre 3.4 - permet de comprendre pourquoi l'OFT n'a pas encore accordé d'autorisation pour l'essai d'exploitation prévu entre Biberbrugg et Arth-Goldau. Pour l'utilisation de ce système d'assistance à la conduite, qui prend certes en charge l'exécution du trajet mais pas la responsabilité de celui-ci, des mesures et des solutions de grande envergure sont notamment exigées dans le domaine des Human and Organisational Factors (HOF) et Mensch, Technik, Organisation (MTO).

En ce qui concerne le « Schlussbericht Schritt B System ATO GoA2 over ETCS L1LS / ATO-Pilot SOB », le VSLF a demandé au SOB de lui fournir, à titre de référence, d'autres documents en lien à ce système et à cet essai d'exploitation. L'entreprise a, pour diverses raisons, refusé de fournir ces documentations complémentaires sans conditions au VSLF. Ceci a notamment eu pour incidence de compliquer la formation d'un avis objectif et éclairé du VSLF sur cet essai d'exploitation.

5.4 Autres utilisations de l'ATO

Depuis plusieurs décennies, certaines lignes partout sur le globe sont exploitées avec diverses formes d'ATO. En République tchèque, par exemple, des trains circulent sur un réseau mixte à voie normale sous GoA2 en ETCS⁹.

Pour certaines circulations sous GoA4, comme le réseau régional de Hambourg ou le RBS dans la région de Berne, en Suisse, il s'agit uniquement de courses d'essai. De plus, ces réseaux ne sont soit pas mixtes, soit en site propre et par conséquent difficilement comparables avec d'autres réseaux ferroviaires à voie normale, par exemple en Suisse.

5.5 Utilisation de l'ATO lors de courses de manœuvre

En principe, les courses de manœuvre automatisées devraient permettre aux entreprises de transport de réaliser des économies non négligeables en frais de personnel, car elles impliquent souvent de longs trajets jusqu'aux faisceaux de voies où sont garés les trains. Il faut toutefois tenir compte du fait que les courses de manœuvre sont nettement moins sécurisées et moins surveillées que les circulations effectuées en tant que « train ». Les dépenses liées à l'infrastructure pour sécuriser ces trajets seraient donc proportionnellement plus importantes. De plus, les travaux préparatoires tels que les

⁸ Office Fédéral des Transports OFT, [Antwort des BAV zugunsten des VSLF, August 2024](#)

⁹ Office Fédéral des Transports OFT, [Technologische Weiterentwicklung des Bahnsystems 2050](#)

essais de frein ou les processus d'attelage devraient également être automatisés pour générer un réel avantage en termes de coûts.

6. GoA2, avantages et inconvénients

Le secteur ferroviaire suisse ayant tendance à s'intéresser de plus en plus aux concepts en degré d'automatisation GoA2, les avantages, les défis et les conséquences qui en découlent sont examinés plus en détail dans ce chapitre.

6.1 Augmentations de capacité

L'argument de l'augmentation de la capacité est régulièrement mis en avant par les partisans de l'automatisation ferroviaire. La question n'est toutefois pas seulement de savoir si l'ATO GoA2 permet de l'atteindre, mais aussi si elle est nécessaire. Il est prouvé que les équipements des véhicules et des lignes en ETCS L1 et L2 entraînent des réductions de capacité en raison d'une conception plus restrictive du système ETCS et de la conduite plus défensive du personnel des locomotives qui en résulte¹⁰. Dans ce contexte, la capacité initiale (hors-ETCS, donc) pourrait par conséquent être rétablie. Nous reviendrons plus en détail sur ce point dans le chapitre suivant.

Toutefois, la précision et la prévisibilité des circulations de convois sur un plan individuel dans l'exploitation quotidienne pourraient effectivement être considérées comme un gain considérable en termes de fiabilité et, par conséquent, d'augmentation de la capacité aux points névralgiques. Un système automatique et fiable tel que ATO GoA2 a par conséquent une influence positive sur ce point.

L'augmentation de la capacité pourrait également être assurée de manière relativement peu coûteuse par des courses manœuvres mieux coordonnées, des processus d'attelage fonctionnels, des systèmes de portes plus fiables ainsi que des processus organisationnels cohérents, routiniers et constants. En outre, comme le montre par exemple la ligne Zurich Hardbrücke - Zurich Stadelhofen, il est possible de réaliser des temps de succession de trains très courts et donc d'atteindre des gains de capacité grâce à une signalisation optique conventionnelle dans le cadre d'une exploitation non automatisée.

La question se pose également de savoir dans quelle mesure les prévisions d'augmentation de la fréquentation des trains sont correctes et si cette augmentation est suffisamment importante sur toutes les lignes et à toutes les heures de la journée.

Conclusion : les augmentations de capacité ne sont que partiellement nécessaires. L'ATO GoA2 peut probablement compenser les pertes de capacité causées par l'ETCS et influencer positivement la prévisibilité des circulations successives de trains. Des processus fonctionnels, un matériel roulant bien entretenu et des intervalles réduits entre

¹⁰ Neue Zürcher Zeitung, «Der FV-Dosto sollte so ruhig fahren wie die Stadler Doppelstockzüge» (Vincent Ducrot, CEO der SBB)

les blocs constituent une alternative avantageuse permettant d'obtenir un résultat similaire.

6.2 Circulation plus rapide le long des courbes de freinage des dispositifs de sécurité

Le système ETCS, en Level 0, 1 ou 2 surveille la vitesse à des degrés divers au moyen de courbes de freinage programmées. Comme, pour des raisons de sécurité, il est supposé que l'état du rail n'est pas optimal, que le niveau de la pente est « déterminant » (par opposition à effectif), que le rapport de freinage théorique est plus bas que le rapport de freinage réel et que d'autres marges de sécurité sont ajoutées, les courbes de freinage sont souvent plus restrictives que nécessaire.

Une augmentation de la capacité avec l'ATO peut être obtenue dans une faible mesure en faisant en sorte que le train suive exactement les courbes d'avertissement et de freinage prescrites par le système de contrôle de la marche des trains. En mode ETCS L0 et L1, c'est-à-dire en conduite manuelle, le personnel des locomotives ne sait pas où se trouve la courbe de freinage respective, de sorte qu'une telle précision ne peut pas être atteinte pour des raisons inhérentes à ces systèmes. Dans le cadre d'une circulation en ATO GoA2, le personnel des locomotives doit cependant assumer la responsabilité de la conduite autonome, au moins dans une certaine mesure, et intervenir en cas de dépassement critique pour la sécurité, bien que le train se trouve à la limite ou déjà au-delà de celle-ci. Cette exigence est extrêmement risquée du point de vue de la psychologie du travail et contraint l'homme à un rôle de surveillance excessivement exigeant. La conduite le long de courbes de freinage implique en outre une usure accrue des composants et un confort de conduite moindre en raison d'une forte utilisation des freins et d'accélération potentiellement brusques.

Conclusion : une augmentation de la capacité au moyen d'une exploitation accrue des limites des courbes de freinage est possible si cette capacité a auparavant déjà été réduite par un système de contrôle de la marche des trains moderne, impliquant une surveillance plus restrictive. La surveillance du système par l'homme est toutefois rendue très difficile. De plus, cela résulterait en l'augmentation de l'usure de certains composants (notamment de freinage).

6.3 Précision des points d'arrêt

Une meilleure précision des points d'arrêt est souvent citée comme argument en faveur de l'ATO. Il est mis en avant que cela permettrait d'accélérer les échanges de voyageurs dans les gares. Des essais ont toutefois montré qu'un arrêt aussi précis que possible ne permet pas de gagner plus de temps qu'un arrêt « imprécis » de quelques mètres¹¹. Parallèlement, il a été démontré qu'un comportement « indiscipliné » des passagers ainsi que des portes d'accès défectueuses ou trop étroites entraînent des pertes de temps et ce, indépendamment du degré d'automatisation. L'exploitation des trains à grande vitesse

¹¹ Der Eisenbahningenieur, Pilotprojekt zur Evaluierung und Steigerung der Haltegenauigkeit

Shinkansen au Japon montre en outre que même sans automatisation, il est possible d'arrêter les trains de manière extrêmement précise, pour autant que cela soit nécessaire et que le matériel roulant permette d'atteindre ce niveau de précision.

Conclusion : la précision des arrêts peut être améliorée grâce à l'ATO, mais cela ne devrait pas nécessairement être un argument en sa faveur. Les flux de passagers peuvent être optimisés par des portes de train plus larges et fonctionnelles, ainsi que par la séparation des flux d'embarquement et de débarquement des passagers.

6.4 Économies d'énergie

Des essais ont montré que l'utilisation de l'ATO permettait de réaliser facilement des trajets optimisés sur le plan énergétique, grâce aux informations fournies au système sur les points de conflit attendus et les réserves intégrées dans les temps de parcours. Dans le rapport final de l'étape B du SOB sur les trajets effectués au moyen de l'ATO, des économies d'énergie d'environ 5% et des gains de temps allant jusqu'à 23 secondes par rapport à des trajets similaires non-automatisés sont relevés pendant les essais d'exploitation¹².

Le mot-clé est ici le niveau d'information. Si le personnel des locomotives dispose des mêmes informations de conduite qu'un système ATO, il est envisageable que l'homme puisse sans problème adopter un mode de conduite tout aussi optimisé sur le plan énergétique. Il est même possible d'imaginer qu'un personnel des locomotives motivé permet en plus d'offrir un style de conduite confortable, ce qui n'est pas toujours le cas de systèmes de conduite automatisés. En cas de mauvaises conditions d'adhérence, il est même plus facile pour l'homme de choisir un mode de conduite adapté et adéquat, afin de réduire les pertes d'adhérence et les mouvements longitudinaux désagréables.

Cependant, en raison de l'utilisation répandue de véhicules à courant triphasé, sur lesquels il est possible de récupérer jusqu'à presque 100% de l'énergie cinétique d'un véhicule en fonctionnement normal, la possibilité de réaliser des économies d'énergie supplémentaires est de toute façon limitée.

Conclusion : des économies d'énergie sont possibles, mais pas uniquement en raison de l'utilisation d'un système ATO. Les informations sur les points de conflit et les réserves de temps de parcours ont des effets positifs aussi bien pour le système que pour le personnel des locomotives à cet égard.

6.5 Responsabilité du personnel des locomotives

Une question clé est la responsabilité du personnel des locomotives dans le cadre d'un trajet sous ATO GoA2. Traditionnellement, le personnel des locomotives est entièrement responsable de l'ensemble du trajet du train, sur la base de sa formation et de ses capacités professionnelles. Dans le cadre d'une circulation en GoA2, il existe

¹² Schweizerische Südostbahn SOB, [ATO Schlussbericht Schritt B](#)

actuellement différentes interprétations concernant les responsabilités, les capacités ainsi que les compétences du système. Par exemple, une exploitation sous ATO, lorsque le système est considéré comme étant un pur système d'assistance à la conduite, peut prendre en charge l'exécution du trajet tout en laissant la responsabilité de la conduite au personnel des locomotives. Cela peut s'avérer problématique étant donné qu'il existe un potentiel de conflit entre conduite automatisée et préservation de la vigilance du personnel. D'une part, il est difficile de savoir dans quelle mesure l'attention de l'être humain peut être maintenue pendant une longue période lorsque son activité est purement de surveillance et, d'autre part, la question se pose de savoir comment conserver la routine d'un personnel qui potentiellement sera toujours moins en charge de la conduite. Cette problématique est encore accentuée lorsqu'il s'agit d'intervenir dans un système de conduite automatisé qui ignore les logiques traditionnelles auxquelles le personnel des locomotives est habitué et qui présente, en raison des paramètres de base du système lui-même, des réactions inhabituelles à des situations habituelles.

De plus, des courses en GoA2 peuvent également être effectuées dans des modes d'exploitation « incertains », c'est-à-dire en dehors d'une surveillance intégrale comme en ETCS L2, et avec des facteurs d'influence externes. Dans ce cas de figure, le personnel des locomotives sert de garant pour éviter d'éventuelles décisions erronées du système. La possibilité d'intervenir à temps est toutefois rendue encore plus difficile par la programmation du système à la limite des courbes de freinage. Les tolérances et les limites sont - comme déjà mis en avant au chapitre 6.2 - tellement faibles qu'il n'est plus guère possible d'intervenir à temps après la reconnaissance d'un comportement erroné du système. L'exercice de la responsabilité par l'homme est ainsi rendu difficile, voire presque impossible.

Dans ces situations, il reste donc au personnel des locomotives les deux possibilités suivantes : surveiller le système avec bienveillance dans l'espoir d'une exploitation fiable ou intervenir en permanence si le système agit en dehors de ses logiques de travail habituelles. Le personnel des locomotives doit, par exemple, selon les prescriptions en vigueur, déclencher le freinage avant de passer un signal présentant une image d'avertissement ; le système ne reçoit cependant l'information sur l'image d'un signal qu'à la hauteur de celui – où les balises sont posées – et ne peut donc déclencher le freinage du train qu'après le passage de celui-ci.

Dans le rapport de l'Union des transports publics (UTP) sur une solution de « branche » ATO basé sur GoA2¹³, il a été estimé que la responsabilité de la conduite devait incomber au personnel des locomotives, mais que le système devait être en mesure de présenter à temps ses éventuels dysfonctionnements de manière ouverte et transparente. Dans le cas contraire, le personnel ne pourrait pas intervenir à temps. Il faut partir du principe que le respect de cette recommandation limiterait encore plus les gains de capacité promis par le système.

¹³ Prose AG, Branchenlösung ATO auf GoA2(+)

Conclusion : la question de la responsabilité n'est que partiellement clarifiée. De plus, la marge de manœuvre du personnel des locomotives est limitée, des questions relatives aux responsabilités techniques et juridiques sont ouvertes et des conflits d'exploitation fondamentaux restent pour l'heure toujours sans réponse.

6.6 Considérations globales en lien à l'ATO

Dans l'étude « Développement technologique du système ferroviaire 2050 »⁹ commanditée par l'OFT le 28 janvier 2022, il est mentionné à propos de la mise en œuvre de l'ATO que la branche a été explicitement mise en garde contre le fait d'investir trop de ressources et d'efforts de recherche dans ce système. En effet, tant qu'il y aura du personnel formé dans les cabines de conduite, le benchmark de l'ATO sera négatif, car l'absence d'économies sur les frais de personnel ne pourra pas compenser ou justifier les investissements élevés nécessaires au bon fonctionnement du système.

Les avantages cités du mode GoA2 sont des points d'arrêt plus précis, une consommation d'énergie réduite et une conduite plus efficace. Ces objectifs peuvent en grande partie également être atteints avec un personnel des locomotives motivé et compétent, disposant du même niveau d'information, et ce, de manière nettement moins onéreuse.

En raison de la grande monotonie et de la vigilance réduite dues à la simple observation de la marche du train, qui n'ont jusqu'à présent été compensées sous aucune forme en Suisse par des mesures dans les domaines HOF/MTO, il est raisonnable de s'attendre à une diminution de l'attractivité du profil professionnel du métier de mécanicien de locomotives. En outre, il faut s'attendre à des influences critiques pour la sécurité, car le système et l'homme fonctionnent sur des logiques différentes.

Conclusion : le rapport coûts/bénéfices, en tenant compte de tous les facteurs, y compris le recrutement du personnel des locomotives, serait probablement négatif si un examen complet était effectué.

7. Conflits entre les « Human and Organisational Factors » (HOF) et GoA2

7.1 Monotonie du travail du personnel des locomotives

Dans le rapport de l'association UTP sur une solution de branche ATO en niveau d'automatisation GoA2¹³, la question est explicitement posée de savoir si, en exploitation ATO, il est possible de garantir que le personnel des locomotives puisse consacrer en permanence toute son attention au système, quelle que soit la durée du trajet parcouru sous ATO. C'est pourquoi il est recommandé d'impliquer dès le début le personnel des locomotives lui-même et ses représentants syndicaux dans les projets d'automatisation. Cette manière de procéder permet en premier lieu l'acceptation de principe du système. La résolution des problématiques peut être abordée dans un second temps. Malheureusement, jusqu'à présent, le VSLF n'a été impliqué dans des projets d'automatisation que sur sa propre demande explicite.

Les mêmes préoccupations ont été réitérées un an plus tard dans le document « Smartrail 4.0 : en douceur vers l'automatisation en cabine de conduite »¹⁴. Il est nouvellement fait mention d'une automatisation optimale au lieu et place d'une automatisation maximale. En ce qui concerne le GoA2, cela signifierait probablement plus d'automatisation du tout. En effet, d'une part, les divers conflits de politique du personnel pourraient ainsi être réglés et les questions en lien à l'efficacité et à l'augmentation de la capacité de ce niveau d'automatisation pourraient être évitées.

Il est reconnu que l'augmentation de la monotonie pour le personnel des locomotives et, par conséquent, les questions en lien à l'interaction homme-machine constituent une clé centrale et un point de conflit dans la thématique ATO. La surveillance constante d'un système sans besoin d'effectuer d'actions spécifiques, associée à un bruit de fond sonore constant, constituent un terreau particulièrement favorable à la perte de concentration, en particulier sur des lignes et des véhicules souvent semblables, voire identiques.

Dans l'évaluation psychologique du travail et des exigences de conception de GoA2 effectué dans le cadre de recherches en lien au projet « smartrail 4.0 », il est indiqué qu'il est nécessaire de « maintenir la conscience de la situation, d'interrompre la sensation de monotonie et de donner un sens à la présence dans la cabine de conduite »¹⁵.

Dans l'exploitation ferroviaire actuelle, la monotonie est déjà importante en temps normal. Les raisons en sont le trafic cadencé, le besoin de devoir effectuer toujours les mêmes actions en cabine de conduite et les rayons de lignes parfois restreints, alors que les véhicules sont de plus en plus faciles à utiliser. Ces réalités incitent à vouloir offrir au personnel un certain soulagement à l'aide d'une solution technique de type ATO GoA2. Malheureusement, la monotonie s'en trouvera plutôt encore accentuée et cela ne constitue pas une amélioration souhaitable, du moins du point de vue du personnel des locomotives.

Un rôle d'observateur pour le personnel des locomotives, tel que prévu par l'ATO GoA2, tout en assumant pleinement la responsabilité de la conduite, n'est pas seulement une solution discutable d'un point de vue technique et juridique, mais est également très peu attractif et même contre-productif d'un point de vue humain.

Conclusion : une activité de surveillance avec des actions à effectuer de manière consciente pendant une période limitée a moins d'effets négatifs qu'une surveillance continue sans tâches actives dans la conduite d'un train¹⁵.

7.2 Solutions proposées par les entreprises de transport ferroviaire

Avec l'introduction éventuelle de l'ATO GoA2, des mesures de grande envergure dans le domaine HOF semblent nécessaires. L'OFT est également de cet avis, notamment pour

¹⁴ Signal+Draht, [Smartrail 4.0: Sanft auf dem Weg zur Automation im Führerstand](#)

¹⁵ Smartrail 4.0, [Arbeitspsychologische Beurteilung und Gestaltungsanforderungen an ATO/GoA2](#)

compenser l'augmentation de la monotonie et la perte d'attention pouvant en résulter. La compensation optimale de la monotonie est la conduite du train par le personnel des locomotives lui-même. En effet, il acquiert ainsi des compétences, trouve un sens à son travail et peut, motivé, effectuer une conduite efficace du train lorsque les informations nécessaires pour ce faire lui sont fournies. Les systèmes de contrôle de la marche des trains peuvent aider à maintenir le taux d'erreur au plus bas en intervenant en arrière-plan lorsque cela est strictement nécessaire. Ces aspects ont déjà été reconnus et mis en œuvre depuis longtemps dans le domaine de l'aviation : les pilotes volent ainsi de nouveau davantage manuellement, bien que le pilote automatique puisse assumer l'extrême majorité des tâches de pilotage.

Actuellement, aucune mesure HOF n'est prévue pour les courses d'essai AFAS au SOB, hormis les indications sur les risques, la recommandation de renforcer la conscience de la situation et la mention de divers « niveaux de repli ». Ceci est surprenant étant donné que cela est explicitement exigé dans le rapport final étape B du SOB sur les courses ATO : « (...) afin de soutenir la vigilance continue et la conscience de la situation, le niveau d'éveil du personnel doit rester garantie, notamment pour compenser la suppression des actions à effectuer. Il convient de s'assurer que les mécaniciens de locomotive disposent d'un rapport équilibré entre activation et performance pendant leur engagement en service ATO ».

Jusqu'à présent, les approches possibles pour garantir l'attention du personnel des locomotives ont été relativement peu prises en compte dans l'exploitation ferroviaire ; elles vont de l'utilisation de sources audio (radio) à la recommandation de boire plus de café et ne sont donc que partiellement à prendre au sérieux. Elles témoignent toutefois d'une impuissance effrayante dans la recherche de solutions à cette question centrale. D'une part, leur efficacité n'est pas prouvée, d'autre part, certaines approches sont en contradiction avec les prescriptions fondamentales régissant la circulation ferroviaire. Il est possible de se demander si cette problématique peut être résolue, car les objectifs des diverses parties prenantes semblent être divergents.

Conclusion : l'application de mesures HOF serait déjà nécessaire du point de vue de l'exploitation ferroviaire d'aujourd'hui. L'absence de telles procédures dans les essais en cours et/ou prévus permet de conclure à un stade expérimental précoce de projets non mûrs et de responsabilités ambiguës en lien à ces questions. Dans ce contexte, l'application de GoA2 déclenche en premier lieu d'autres situations conflictuelles.

7.3 Point de vue de la recherche

L'étude « Évolution technologique du système ferroviaire 2050 », commanditée par l'OFT⁹, se base sur le fait que l'ATO GoA4 serait un nouveau standard possible à un horizon de long-terme. Comme décrit au point 3.1.1 « Exploitation des trains hautement automatisée », cela implique une isolation aussi complète que possible de la voie contre les influences extérieures et un nombre conséquent d'employés en service de piquet et/ou en réserve pour pallier d'éventuels dérangements. Ce personnel n'aurait vraisemblablement aucune routine dans la conduite des trains et ne pourrait

probablement parvenir à résoudre les conflits en cas d'incident que dans le cadre de processus rudimentaires.

Un engagement étendu de personnel de réserve et de piquet n'aurait aucun sens dans la mesure où les avantages possibles - notamment monétaires - de l'application de l'ATO GoA4 seraient relativisés.

Conclusion : une exploitation hautement automatisée signifie qu'aucun mécanicien n'est utilisé et que celui-ci ne peut plus être formé comme cela a été le cas depuis toujours. Les compétences de conduite manuelle des trains seraient perdues. Or, celles-ci seraient absolument nécessaires pour intervenir sur le terrain en cas d'incident.

7.4 Recrutement futur de personnel des locomotives en cas mise en œuvre de l'ATO

L'objectif de « donner un sens à la présence en cabine de conduite », tel que mentionné dans le document « Évaluation psychologique du travail et exigences de conception pour ATO/GoA2 de smartrail 4.0 »¹⁵, permet de conclure à la reconnaissance précoce de l'absence de sens du travail du personnel des locomotives dans le cadre de circulations en ATO GoA2. Avec cette hypothèse à considérer comme étant réaliste, les entreprises de transport ferroviaire se verront toujours plus confrontées à de grandes difficultés dans le recrutement et la fidélisation du personnel. En effet, recruter du personnel compétent et le garder pendant des années est déjà aujourd'hui un défi pour la plupart des ETF.

Les coûts de formation continue du personnel des locomotives sont élevés. En effet, l'augmentation des interruptions de formation ainsi que des abandons (complets ou partiels) de la profession, notamment en raison d'horaires de travail peu attrayants et d'une monotonie croissante dans le travail, a pour incidence des coûts qui ne cessent d'augmenter. Le risque de pénurie de personnel des locomotives, avec ses conséquences sur l'exploitation, est également amené à augmenter dans le futur.

Une solution possible à cette problématique semble être la conduite hautement automatisée sous ATO GoA4. Cela ne semble cependant pour l'heure pas réaliste. Un « étapage » de cette évolution via un niveau d'automatisation intermédiaire en GoA2 ne résout pas ce problème, mais semble plutôt l'aggraver encore de manière sensible.

La présentation et la publication permanentes de prétendues solutions ATO pour la conduite des trains tendent également à créer une image négative de la profession, donnant l'impression qu'elle ne semble avoir qu'un avenir incertain. Ce signal envoyé est désastreux sur le plan du recrutement de personnel qualifié et motivé.

Du point de vue du personnel des locomotives, il est démotivant de constater que la haute valeur du travail fourni, l'expérience, la disponibilité à effectuer des activités en lien à la sécurité à toute heure du jour et de la nuit sont des qualités aujourd'hui perçues comme étant insuffisantes et problématiques. En effet, les raisons effectives de cette qualité perçue comme insuffisante est avant tout le résultat de processus généralistes et

complexes, d'une tendance à la surréglementation, à l'apparition de nouvelles normes et restrictions légales ainsi qu'à l'augmentation de la bureaucratie. Cette problématique est notamment détaillée dans une présentation du VSLF, présentée à la branche dans le cadre d'un congrès de Railplus en mars 2024¹⁶.

Conclusion : les solutions ATO mises en avant sont souvent des arguments de vente de l'industrie et de certaines unités des ETF elles-mêmes. Ces divers arguments entrent en concurrence directe avec le recrutement du personnel des locomotives, qui reste nécessaire.

8. Solutions avec ATO

Les longs tronçons en tunnel sont prédestinés à la conduite sous GoA2/3, car aucune influence de l'environnement n'est exercée sur les courses qui s'y tiennent. Pour le personnel, ces trajets sont peu attrayants, car les influences positives de stimulation telles que le paysage et la météo disparaissent. On peut citer comme exemple les trains autos dans les tunnels de la Vereina et du Lötschberg. Il serait également envisageable de faire circuler des trains dans les nouveaux tunnels de base au moyen de l'ATO.

De même, des mises en œuvre d'ATO sont envisageables dans le domaine des circulations de manœuvre. Ces circulations ont souvent lieu aux heures creuses et sont par nature des circulations qui ne sont pas directement productives. De plus, les manœuvres se font en principe à basse vitesse, dans des zones limitées et sans transport de personnes. Il faut toutefois tenir compte du fait que les mouvements de manœuvre sont nettement moins sécurisés et moins surveillés que les trajets en train. Les coûts d'adaptation de l'infrastructure seraient donc relativement élevés.

Un système similaire au système de détection de la fatigue dans les voitures, qui prendrait le relais en cas d'épuisement du personnel des locomotives, ou du moins le surveillerait de plus près, aurait le potentiel de minimiser les erreurs de manipulation.

Conclusion : il existe des domaines d'application dans lesquels des systèmes ATO pourraient vraiment soulager, voire épauler le personnel de manière judicieuse

9. Conclusions en lien à l'ATO en Suisse

9.1 Possibilités techniques en lien à l'ATO

Diverses conditions manquantes rendent encore irréaliste la conduite à l'aide de solutions sous ATO GoA3 et 4 pour le trafic mixte sur voie normale. Si la faisabilité technique devait un jour être donnée, la question de la pertinence et du rapport entre les coûts et les bénéfices se poserait.

¹⁶ VSLF, [VSLF RailPlus Präsentation](#)

L'argument souvent avancé concernant l'augmentation de la capacité n'est correct que dans certaines conditions. Les augmentations de capacité qui ont effectivement pu être démontrées sont relativement faibles et peuvent également être obtenues avec des méthodes plus simples et moins coûteuses. La qualité et la précision dans le domaine des processus et du matériel roulant permettent également de créer de la capacité supplémentaire. Une grande augmentation de la capacité serait obtenue avec des dispositifs de sécurité adaptés aux utilisateurs, dotés de courbes de freinage réalistes et disposant d'un affichage judicieux et précis à destination du personnel des locomotives.

Les gains de précision au niveau des points d'arrêt grâce aux systèmes de conduite (semi-)automatiques sont négligeables et ne génèrent pas de bénéfices supplémentaires sans systèmes complets de gestion des flux des passagers. Une technique de véhicules fiable et un matériel roulant pilotable avec précision produisent des effets similaires.

Les économies d'énergie, si elles sont réalisables, sont marginales. Le personnel des locomotives, s'il est équipé des mêmes informations que les systèmes ATO, est en mesure de conduire un train avec la même quantité d'énergie. De plus, la qualité globale, notamment le confort de conduite, ne peut guère être surpassée par rapport aux circulations effectuées par du personnel des locomotives motivé et compétent.

9.2 Aspects HOF en lien à l'ATO

Un simple rôle d'observateur, tout en assumant la pleine responsabilité de la conduite du convoi par un système semi-automatisé, comme le prévoient certains essais sous ATO GoA2, n'est pas seulement difficilement mettable en œuvre sur le plan technique et juridique, il est également peu attrayant et risqué du point de vue humain.

Il existe quelques cas d'application spécifiques, comme certaines circulations particulièrement monotones ou l'épuisement du personnel, dans lesquelles l'ATO peut éventuellement apporter un soutien utile. Néanmoins, l'activité de surveillance permanente sous ATO GoA2 est grevée de nombreux effets secondaires négatifs. Le problème de la diminution de la vigilance en l'absence de conduite active des trains n'est pas résolu et n'occupe malheureusement qu'une place insignifiante dans les projets et les essais actuels et futurs.

Les trains à conduite automatique ont pour conséquence qu'il n'est plus nécessaire de disposer de personnel des locomotives et que celui-ci ne peut plus être formé ou, du moins, que le recrutement de personnel compétent et motivé deviendrait probablement très difficile.

9.3 Considérations globales

Le rapport coûts/bénéfices, qui tient compte de tous les facteurs tels que l'augmentation de l'efficacité/de la capacité, le recrutement de personnel ou le niveau de sécurité, sera plutôt négatif si l'on procède à un examen complet. En effet, la transparence des coûts ne semble que rarement respectée dans la vision actuelle des choses.

Les solutions ATO mises en avant sont des arguments de vente de l'industrie et de certaines entités des entreprises de transport ferroviaire ; dans de nombreux cas, elles reposent sur des promesses creuses ou manquent leur objectif. Le signal envoyé entraînera des problèmes sensibles dans le recrutement du personnel des locomotives, qui reste nécessaire.

ATO GoA2 est vendu comme une étape intermédiaire nécessaire sur la voie de l'automatisation. Mais ce système présente des inconvénients et des risques considérables, et pas seulement pour les utilisateurs. Il n'est pas prévu de le faire évoluer rapidement vers des niveaux d'automatisation plus pertinents et complets tels que GoA3 ou 4. Il semble donc bien qu'il s'agisse d'un gadget, certes techniquement réalisable, mais qui ne résout pas les véritables problèmes des entreprises de transport ferroviaires et par conséquent du chemin de fer sur la voie d'un avenir prospère.

10. Glossaire

AFAS	Automatisches Fahrassistenz System, Système d'assistance automatisé de conduite
ATO	Automatic Train Operation
CBTC	Communication Based Train Control System
CFF	Chemins de fers fédéraux suisses
ETCS	European Train Control System
GoA	Grade of Automation
HOF	Human and organisational factors
LZB	Linienzugbeeinflussung, Système de contrôle de la marche des trains allemand
MTO	Mensch-Technik-Organisation, Organisation humaine-technique
OFT	Office fédéral des transports
SIL	Safety Integrity Level
SOB	Südostbahn
TL	Transports publics de la région lausannoise
TVM	Transmission Voie-Machine
ZUB	Punktförmiges Zugbeeinflussungssystem (Siemens ZUB121/262), Système de contrôle de la marche des trains suisse

11. Bibliographie (dans sa version originale, en allemand)

Sites internet

- Bundesamt für Verkehr BAV, Sicherheitsberichte,
<https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/publikationen/berichte/sicherheit.html>
- Bundesamt für Verkehr BAV, BAV-News-Blog,
<https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/publikationen/bav-news-blog.html>
- Verband Öffentlicher Verkehr (VÖV), ATO-Branchenprogramm,
<https://www.voev.ch/de/System-Bahn-RTE/ATO-Branchenprogramm>
- Verband Öffentlicher Verkehr (VÖV), Projektübersicht in der ATO-Landschaft,
<https://www.voev.ch/de/System-Bahn-RTE/ATO-Branchenprogramm/Projektuebersicht-in-derATO-Landschaft>
- Railplus, Die Antwort der Meterspurbahnen zur Digitalisierung des Bahnbetriebs,
<https://www.railplus.ch/de/kompetenzzentren/nextrailplus>
- Bundesamt für Verkehr BAV, Technische Neuerungen im Schienengüterverkehr,
<https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/verkehrsmittel/eisenbahn/gueterverkehr/technische-neuerungen-im-schienenguterkehr.html>
- Schweizerische Südostbahn, Automatic Train Operation (ATO) in 3 Minuten erklärt,
<https://direkt.sob.ch/themen/bahnwissen/ato>
- Wikipedia, Automatic Train Operation,
https://de.wikipedia.org/wiki/Automatic_Train_Operation
- Wikipedia, Sicherheitsanforderungsstufe,
<https://de.wikipedia.org/wiki/Sicherheitsanforderungsstufe>
- Alstom, Alstom CBTC range : world leading high-capacity signalling,
<https://www.alstom.com/solutions/signalling/alstom-cbtc-range-world-leading-high-capacity-signalling>
- Verband Schweizer Lokführer und Anwärter (VSLF), ETCS / ATO,
<https://www.vslf.com/info/etcs>

Articles / Publications

- Deutsches Eisenbahn-Bundesamt, Nationaler Umsetzungsplan ETCS (Version 1.11), 2017, 24 Seiten
- Schaefer, Spécial métro M2, portes ouvertes, Banc Public - Magazine des transports publics de la région lausannoise, Transports publics de la région lausannoise, 2006, 23 Seiten
- von Andrian, Unklare Lage bei der Waldenburgerbahn, Schweizer Eisenbahn Revue SER 1/2023, 2 Seiten
- Versluis, Quaglietta, Goverde, Pellegrini, Rodriguez, Real-time railway traffic management under moving-block signalling : A literature review and research agenda, Transportation Research Part C: Emerging technologies, 2024, 16 Seiten

- Nold, Büchel, Leutwiler, Lotz, Marra, Corman, Technologische Weiterentwicklung des Bahnsystems 2050, Bundesamt für Verkehr (BAV), 2022, 105 Seiten
- Wirth, Pilotprojekt zur Evaluierung und Steigerung der Haltegenauigkeit, Der Eisenbahningenieur, 2021, 5 Seiten
- Böhler, Dällenbach, Kühni, Peine, Schlussbericht Schritt B, Schweizerische Südostbahn AG, 2024, 60 Seiten
- Nold, Büchel, Leutwiler, Lotz, Marra, Corman, Technologische Weiterentwicklung des Bahnsystems 2050, Bundesamt für Verkehr (BAV), 2022, 105 Seiten
- Napoli, Branchenlösung ATO auf GoA2(+), Prose AG, 28 Seiten
- Abrach, Metz, Schneider, Smartrail 4.0: Sanft auf dem Weg zur Automation im Führerstand, Signal+Draht, 2019, 9 Seiten
- Steiner, Arbeitspsychologische Beurteilung und Gestaltungsanforderungen an ATO/GoA2, Smartrail 4.0, 2019, 19 Seiten
- Giger, «VSLF RailPlus Präsentation», VSLF, 2024