
Rapport final relatif à la phase 2 du projet ATO2Basic

Auteurs	Jens Nolte (I-NAT-SR40-PMO-PLP), équipe ATO
Confidentialité	Document public
Statut	Validé
Version	1.0
Dernière modification le	4. janvier 2021
Dernière modification par	Jens Nolte
Droit d'auteur	Le document est protégé par la législation sur le droit d'auteur. Toute utilisation à des fins commerciales requiert une autorisation préalable expresse.
Archivage	Publication du présent document et des documents de référence afférents: https://www.smartrail40.ch
Langue d'origine	Allemand
	En cas de contradiction entre les versions, la version rédigée dans la langue d'origine prévaut.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES ILLUSTRATIONS	4
LISTE DES TABLEAUX	4
LISTE DES MODIFICATIONS	4
GLOSSAIRE	5
1. SYNTHÈSE	6
1.1. Vue d'ensemble des résultats du contrôle	8
1.1.1. Réalisation des objectifs de la phase	8
1.1.2. Fonctions nouvellement mises en œuvre pendant la phase 2	8
1.1.3. Autres résultats de la phase 2	9
2. INTRODUCTION	10
2.1. Objectifs de la phase 2 du projet pilote ATO2Basic	10
2.2. Architecture générique du système ATO de niveau GoA2	10
2.3. Environnement de test	11
2.4. Organisation des tests	12
2.5. Données brutes enregistrées	14
2.6. Cas de test	14
3. MISE EN SERVICE AVEC LE MODÈLE DE FONCTIONNEMENT DE L'ATO-OBU DU FOURNISSEUR (SIEMENS)	16
3.1. Fonctions de base	17
3.2. Fonctions mises en œuvre et contrôle de ces fonctions	17
3.2.1. Régulation de l'adhérence	17
3.2.2. Tronçons de ralentissement (area speed restrictions)	18
3.2.3. Zones d'interdiction ATO (ATO-inhibition zone)	18
3.2.4. Commande des portes	18
3.2.5. Omission d'arrêts	19
3.2.6. Section de protection	19
3.2.7. Heure de départ	19
3.2.8. End of Movement Authority Offset (compensation pour fin d'autorisation de circuler)	19
3.2.9. Synthèse des résultats du contrôle	19

4. OBSERVATIONS TIRÉES DES ESSAIS RÉALISÉS	21
4.1. Comportement de conduite de base	21
4.1.1. Heure d'arrivée	21
4.1.2. Position des arrêts	22
4.1.3. Procédures liées aux arrêts	24
4.1.3.1. Évaluation du respect des directives	25
4.1.3.2. Analyse de la dépendance entre position des arrêts et distance des balises	27
4.1.3.3. Étapes suivantes	27
4.2. Comportement de conduite étendu/autres paramètres	28
4.2.1. Diminution des retards	28
4.2.2. Course aux valeurs proches de la courbe de freinage	31
4.2.3. Consommation d'énergie	31
4.2.4. Potentiel de rupture des pics de consommation	33
4.2.5. Adhérence	34
4.2.6. Comportement de conduite dans les sections de protection	35
4.2.7. Commande par RCS/mises à jour du profil d'itinéraire/boucles de régulation	35
4.2.7.1. Vue d'ensemble des boucles de régulation	35
4.2.7.2. Courses avec données en direct du RCS	36
5. BILAN	39
5.1. Réalisation des objectifs de la phase	39
5.2. Applicabilité des projets de normes des STI pour l'exploitation ferroviaire suisse	40
5.3. Comportement de conduite	40
5.4. Ponctualité	40
5.5. Position des arrêts	41
5.6. Économies d'énergie	41
5.7. Comportement dynamique de circulation/de freinage	41
5.8. Intérêt pour l'exploitation ferroviaire et le personnel des locomotives	41
5.8.1. Intérêt de l'ATO présenté par l'industrie et son évaluation	41
5.8.1.1. Évaluation du potentiel d'économie d'énergie	41
5.8.1.2. Évaluation de la hausse des capacités (stabilité, capacité des nœuds)	42
5.8.2. Évaluation du potentiel de l'ATO de niveau GoA2 pour soulager le personnel des locomotives	42
6. PERSPECTIVES	43
7. REMARQUES SPÉCIFIQUES DES CFF	44

8. DÉCOUVERTES DANS LES NORMES	45
9. LISTE DES DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE	45

Liste des illustrations

Liste des tableaux

Liste des modifications

Version	Date	Auteur	Service spécialisé/ service de validation	Remarques/type de Modification	Statut
X.3	23.11.2020	Jens Nolte	I-NAT-SR40-ATO Siemens Mobility	Projet final pour révision externe	Validé
1.0	1.12.2020	Jens Nolte	I-NAT-SR40-ATO	Première édition pour publication	Validé

Glossaire

ATO Disengaging (DE)	Mode d'exploitation de l'ATO-OBU équivalant à un «passage de l'état actif à inactif» de l'ATO
ATO Engaged (EG)	Mode d'exploitation de l'ATO-OBU équivalant à «ATO actif»
ATO Ready (RE)	Mode d'exploitation de l'ATO-OBU équivalant à «ATO inactif, mais pouvant être activé»
ATO-OBU	Automatic Train Operation – On Board Unit (pour RCA: ATO-AV)
ATO-TS	Automatic Train Operation – Trackside (pour RCA: ATO-AT)
DCS	Data Collection System (système central des CFF d'où sont issues les données énergétiques)
DDS	Data Distribution Service (mémoire de données pour la technique de conduite des véhicules)
DMI	Driver Machine Interface
EMS	Energy Meter System
EoA	End of Movement Authority – fin de l'autorisation de circuler ETCS
ETCS L2 FS	European Train Control System Level 2 Full Supervision
ETF	Entreprise de transport ferroviaire
Journey Profile (profil d'itinéraire)	Jeu de données sur l'horaire, les lignes et d'autres données de service, qui décrivent une marche devant être exécutée par un train fonctionnant automatiquement
Passing Point (point de passage)	Point d'un tronçon parcouru avec l'ATO à un moment défini
RBC	Radio Block Centre
RCS	Rail Control System (système de répartition du produit CFF-TMS)
Segment Profile (profil de segment)	Jeu de données d'infrastructure nécessaires à la réalisation de marches automatiques
Shift2Rail	Initiative européenne d'innovation dans le domaine ferroviaire
SS125	Exigences systémiques fonctionnelles relatives à un système interopérable «ATO over ETCS», se limitant aux niveaux GoA1 (C-DAS) et GoA2 (à l'exclusion des niveaux GoA3 et GoA4)
SS126	Interface ATO-OB/ATO-TS (FFFIS)
SS130	Interface ETCS-OB/ATO-OB (FFFIS)
SS139	Interface ATO-OB/train (FFFIS)
STI	Spécifications techniques d'interopérabilité
Stopping Point	Point d'arrêt sur une ligne au niveau duquel l'ATO marque un arrêt à un moment défini

TCMS	Train Control and Management System, technique de conduite des véhicules
TMS	Traffic Management System (système de répartition, RCS chez les CFF)

1. Synthèse

Le projet pilote ATO2Basic des CFF vise à contrôler les futures normes des STI 2022 pour l'ATO de niveau GoA2, afin de s'assurer que leur application n'aura aucune répercussion négative sur l'exploitation ferroviaire suisse. Ce projet vise également à vérifier la possibilité de contrôler les marches par le biais d'un TMS, en l'occurrence le RCS des CFF. Enfin, ce projet doit établir une démonstration de faisabilité pour vérifier si les normes peuvent être mises en œuvre avec l'ETCS Baseline 2.3.0.d actuel. La phase 1, qui s'est achevée en 2019, est présentée dans le document de référence 4. Le présent document s'attarde sur les résultats de la phase 2, qui a été réalisée en 2019 et 2020.

Les objectifs de la phase 2 du projet ATO2Basic ont été tous atteints: une exploitation de l'ATO avec le niveau GoA2 est possible avec l'ETCS Baseline 2.3.0.d sans effet négatif sur l'exploitation ferroviaire, même en présence de directives d'horaire dynamiques transmises par le RCS. Le comportement de conduite a fait l'objet d'observations approfondies.

- Ces observations ont permis de déterminer que le modèle de fonctionnement de l'ATO-OBU, utilisé sans exigences particulières de performances, a le potentiel pour permettre des arrêts à une position définie, avec un écart de quelques secondes par rapport à l'horaire, tout en autorisant des marches optimisant l'énergie. La plausibilité de l'économie d'énergie potentielle avancée par l'industrie (jusqu'à 42%) a été confirmée à l'occasion de mesures individuelles, plus précisément jusqu'à 37% (voir le chapitre 5.6).
- Lorsque cela est nécessaire, l'ATO permet une circulation des trains quasiment aux limites définies du système, p. ex. dans le domaine des accélérations et des courbes de freinage ETCS conservatrices. Il convient d'analyser, au regard à la planification des capacités, la possibilité de réduction des réserves existantes des courbes de freinage pour les marches réalisées avec le niveau GoA2 (voir chapitre 5.3).
- Le modèle de fonctionnement de l'ATO-OBU respecte à 100% les directives du personnel des locomotives concernant la position des arrêts dans le cadre du trafic grandes lignes. Les exigences de smartrail 4.0 de +/-1,5 m sont respectés à 97% avec les balises existantes (qui correspondent approximativement aux recommandations de Shift2Rail) (voir chapitre 5.5).
- Les fonctions déployées avec l'ATO-OBU utilisé montrent que le système contribue à une commande précise des véhicules et donc à l'optimisation de l'exploitation ferroviaire dans les domaines de la ponctualité et de la capacité des nœuds. Dans le même temps, elles se veulent le reflet d'une exploitation ferroviaire normale, avec des fonctions de régulation de l'adhérence, les situations d'exploitation et les possibilités de commande des portes.

Pendant la phase 2, des tests ont été menés avec le modèle de fonctionnement de l'ATO-OBU du fournisseur Siemens. Ce modèle a ainsi été installé temporairement dans un véhicule Stadler

FLIRT. Toutes les interfaces ont été mises en œuvre selon les projets des normes STI 2022. Le rattachement au système de contrôle des trains régi par l'ETCS BL 2.3.0.d a été effectué sur l'interface correspondante, par le biais d'un adaptateur mis à disposition par le fournisseur. Concernant l'infrastructure, les tests ont été réalisés avec l'ATO-TS développé par smartrail 4.0, qui a été associé au RCS existant. En dehors de l'ATO-TS, aucune modification ou extension n'a été apportée à l'infrastructure. Les balises ETCS importantes pour la localisation ont été utilisées conformément à l'étude de projet ETCS des CFF, sans opter pour une optimisation par le biais de balises supplémentaires.

1.1. Vue d'ensemble des résultats du contrôle

1.1.1. Réalisation des objectifs de la phase

Objectif		Remarque
Exploitation de l'ATO avec toutes les interfaces de l'ATO-OBU, conformément au projet de normes relatif aux STI (si cela est faisable sur le plan technique)	✓	Les tests en conditions réelles ont été réalisés avec un modèle de fonctionnement de l'ATO-OBU dûment préparé.
Exploitation de marche avec interface bidirectionnelle vers l'ATO-TS et mise en œuvre des directives d'horaire dynamiques par le RCS	✓	Des marches ont été réalisées avec les directives correspondantes, la mise en œuvre a été démontrée et un potentiel d'amélioration a été identifié.
Observations approfondies du comportement de conduite avec une fonctionnalité étendue par rapport à la phase 1 (voir chap. 3.2), détermination du potentiel	✓	Les observations ont été réalisées et sont précisées dans le présent document.
Observer et constater que le fonctionnement de l'ATO n'a aucune répercussion négative sur l'exploitation ferroviaire	✓	Aucune répercussion négative sur l'exploitation ferroviaire n'a été constatée. Il existe néanmoins un potentiel d'amélioration.
Démonstration de faisabilité l'ATO avec le niveau GoA2 et un rattachement de l'ETCS selon le SS130 peut déjà être mis en œuvre avec l'ETCS Baseline 2.3.0d.	✓	L'ATO avec le niveau GoA2 peut déjà être utilisé avec Baseline 2.3.0d.

Tableau 1: réalisation des objectifs de la phase

➔ **Tous les objectifs de la phase ont été atteints.**

1.1.2. Fonctions nouvellement mises en œuvre pendant la phase 2

Fonction	Degré de réalisation	Remarque
Régulation de l'adhérence	✓	Fonction mise en œuvre dans les sous-ensembles, processus de saisie des données non définis
Tronçons de ralentissement (area speed restrictions)	✓	Fonction mise en œuvre
Zones d'interdiction ATO (ATO-inhibition zone)	✓	Fonction mise en œuvre
Commande des portes	✓	Fonction mise en œuvre
Omission d'arrêts	✓	Fonction mise en œuvre
Section de protection	✓	Fonction mise en œuvre, potentiel d'amélioration communiqué à Shift2Rail
Heure de départ	✓	Mise en œuvre testée uniquement sur un DMI provisoire sans affichage
End of Movement Authority Offset (compensation pour fin d'autorisation de circuler)	✓	Fonction mise en œuvre, potentiel d'amélioration communiqué à Shift2Rail

Tableau 2: degré de réalisation des nouvelles fonctions de la phase 2

➔ **Les fonctions nouvellement mises en œuvre ont été testées avec succès.**

1.1.3. Autres résultats de la phase 2

Fonction	Degré de réalisation	Remarque
Ponctualité	✓ À la seconde près	Heure d'arrivée respectée à la seconde près
Profil de circulation	✓	L'ATO permet une circulation très proche de la courbe de freinage de l'ETCS.
Précision de la position de l'arrêt	✓ +/-1,5 m	Concernant le positionnement optimal des balises (selon la recommandation de Shift2Rail), le modèle de fonctionnement respecte déjà 100% des exigences du trafic régional et 97% de celles de smartrail 4.0 (+/-1,5 m).
Conduite optimisant la consommation d'énergie	✓	La plausibilité de l'économie d'énergie potentielle de l'ATO avancée par l'industrie (jusqu'à 42%) a été confirmée à hauteur de 37% grâce à une mesure individuelle (l'exemple est issu du document de référence DB Cargo Pilot Vorbereitung Sion-Sierre).

Tableau 3: autres résultats de la phase 2

➔ **Il a été possible de confirmer les déclarations de l'industrie concernant le système ATO et les points suivants: ponctualité, profil de circulation, précision de la position des arrêts et conduite optimisant la consommation d'énergie.**

2. Introduction

Le présent document regroupe les résultats de la phase 2 du projet ATO2Basic, qui a été menée pour contrôler la faisabilité du système ATO de niveau GoA2 sur la ligne Lausanne–Villeneuve. Les tests ont été menés de novembre 2019 à juin 2020. Tous les résultats ont été obtenus avec les projets des interfaces correspondantes conformément aux «spécifications techniques d'interopérabilité» (STI) et avec un système ETCS Baseline 2.3.0.d. Ce chapitre traite plus en détail les conditions-cadres des courses de test.

2.1. Objectifs de la phase 2 du projet pilote ATO2Basic

Les objectifs déclarés de la phase 2 du projet pilote ATO2Basic sont les suivants.

- Exploitation de l'ATO avec toutes les interfaces de l'ATO-OBU, conformément au projet de normes relatif aux STI (si cela est faisable sur le plan technique)
- Exploitation de marche avec interface bidirectionnelle vers l'ATO-TS et mise en œuvre des directives d'horaire dynamiques par le RCS
- Observations approfondies du comportement de conduite avec une fonctionnalité étendue par rapport à la phase 1
- Garantie, sur la base des observations, que le fonctionnement de l'ATO n'a aucune répercussion négative sur l'exploitation ferroviaire
- Démonstration de faisabilité démontrant que l'ATO de niveau GoA2 avec rattachement à l'ETCS selon le SS130 peut être mis en œuvre avec l'ETCS Baseline 2.3.0d

2.2. Architecture générique du système ATO de niveau GoA2

L'illustration suivante présente l'architecture générique du système au niveau GoA2 et décrit les principaux blocs de fonctions et l'intégration de l'ATO-OBU dans les systèmes périphériques.

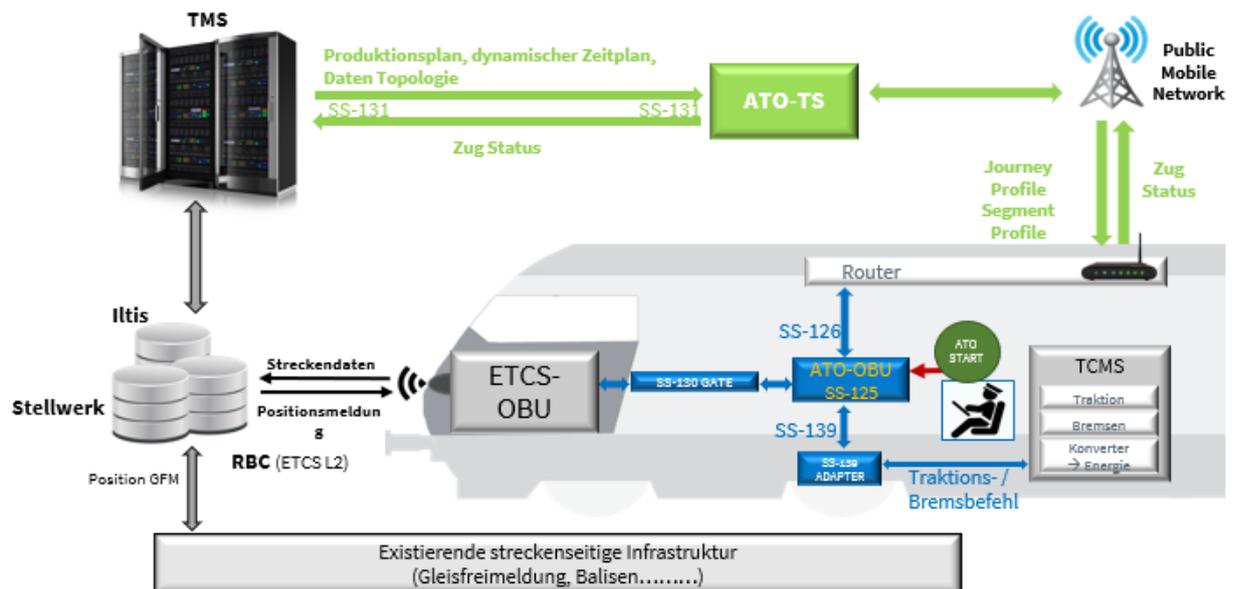


Illustration 1: architecture générique du système

2.3. Environnement de test

Les tests (réalisation de tous les cas de test) ont eu lieu sur un tronçon de 30 km sur la ligne reliant Lausanne à Villeneuve équipée de l'ETCS Level 2 FS. Des trains régionaux, des Intercity et des trains de marchandises empruntent cette ligne. Il s'agit de l'une des rares lignes européennes équipées de l'ETCS L2 empruntée par des trains du trafic régional.



Illustration 2: ligne des tests

Dans le cadre de l'exploitation normale, les durées des trajets sont les suivantes, conformément à l'horaire des CFF, et sont mesurées à partir de la gare de départ:

N° gare	Arrêt	Arrivée aller (minutes)	Départ aller (minutes)	Arrivée retour (minutes)	Départ retour (minutes)
1	Lausanne		00	37	
2	Pully	03	03	33	33
3	Lutry	05	05	29	29
4	Villette VD	07	07	28	28
5	Cully	10	10	26	26
6	Epesses	11	11	23	23
7	Rivaz	14	14	20	20
8	Saint-Saphorin	16	16	19	19
9	Vevey	21	22	14	15
10	La Tour-de-Peilz	23	23	11	11
11	Burier	25	25	09	09
12	Clarens	27	27	08	08
13	Montreux	30	31	07	07
14	Territet	32	32	04	04
15	Veytaux-Chillon	34	34	02	02
16	Villeneuve	38	n/a	n/a	00

Tableau 4: gares et heures de départ

Chaque responsabilité est attribuée de manière claire à un membre de l'équipe. Certaines tâches ont été confiées à des membres non permanents de l'équipe, qui ont pris part à un ou plusieurs week-ends de tests pendant les courses. Ces tâches sont regroupées sous l'appellation «Divers» au niveau des compétences.

Responsabilité	Responsable	Organisation	Remarque
Établissement des procès-verbaux	Divers	SR 4.0, CFF-P	Cas de tests réalisés, événements spéciaux (conditions météorologiques, etc.)
Consignation des heures d'arrivée/de départ	Divers	SR 4.0, CFF-P	Avec horloge GPS
Données de journal ATO-OBU	Jens Nolte	SR 4.0	Analyse possible uniquement par le fournisseur (Siemens)
Élaboration du profil d'itinéraire et de segment	Daniel Minder	CFF IT ATO-TS	Données du TMS vers l'ATO-TS
Données de journal ATO-TS	Daniel Minder	CFF IT ATO-TS	
Données SS139	Michael Matthias	CFF-P	Renifleur entre l'ATO-OBU et le TCMS
Données SS126	Michael Matthias	CFF-P	Renifleur entre l'ATO-OBU et l'ATO-TS
Données SS130	Michael Matthias	CFF-P	Renifleur entre l'ATO-OBU et l'ETCS
Données de journal adaptateur SS139	Michael Matthias	CFF-P	Fichiers journaux de l'adaptateur
Données JRU	Franziska Wanner	CFF-P	Enregistreur de données TELOC®
Paramètres de la technique de commande	Franziska Wanner	CFF-P	TOP1131® enregistrement de données sélectionnées concernant la technique de commande
Données énergétiques	Divers	CFF-I-EN	Données EMS via DCS
Données RCS	Divers	CFF IT, SR 4.0	
Personnel des locomotives pour les courses d'essai	Divers	CFF-P	
Sécurité lors des cas de test, ouverture des portes	Divers	SR 4.0, CFF-P	
Responsable des courses d'essai	Divers	CFF-P	Contact avec le chef-circulation au centre d'exploitation
Transformation du véhicule	Michael Matthias Franziska Wanner	CFF-P	
Responsable des tests	Franziska Wanner	CFF-P	Coordination et direction des tests avec tous les participants
Données de journal ETCS	Franziska Wanner	CFF-P	(partiellement)

Responsabilité	Responsable	Organisation	Remarque
DDS	Franziska Wanner	CFF-P	Données des événements concernant la technique de commande (partiellement)
Enregistrements vidéo	Franziska Wanner	CFF-P	Avec GoPro (partiellement)
Position des arrêts	Divers	CFF-P, SR 4.0	Mesures des distances à la gare
Données énergétiques	Divers	CFF-I-EN	
Dépouillement et analyse des données	Xiaolu Rao	SR 4.0	

Tableau 6: rôles au sein de l'équipe de test

2.5. Données brutes enregistrées

L'illustration suivante donne une vue d'ensemble des données brutes enregistrées. Elle présente le lieu de collecte des données brutes utilisées pour les analyses du présent rapport.

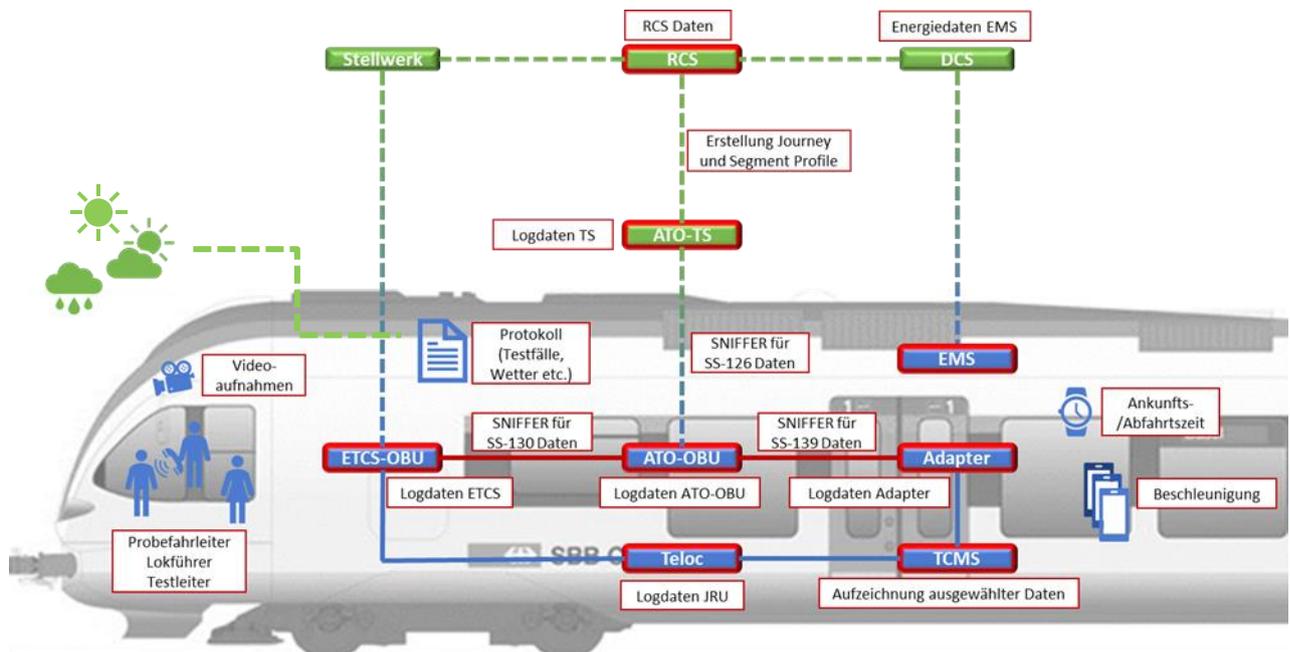


Illustration 4: données recueillies

Certaines données ont été consignées manuellement. Les données de journal de certains systèmes ont été également enregistrées. Les activités réalisées au niveau des interfaces ont été consignées régulièrement à l'aide d'un renifleur qui était intégré dans la connexion Ethernet. Les enregistrements vidéo ont été réalisés à l'aide d'une caméra placée sur le pupitre du conducteur. Ils ont été effectués afin de pouvoir comprendre si nécessaire les opérations sur la voie et ont été supprimés dans l'intervalle.

2.6. Cas de test

Au total, 105 cas de test différents ont été appliqués à des fréquences variables afin d'évaluer l'applicabilité, l'exhaustivité et la faisabilité des projets de normes des STI pour l'ATO de niveau GoA2. L'illustration suivante donne des précisions sur la répartition des tests selon la catégorie.

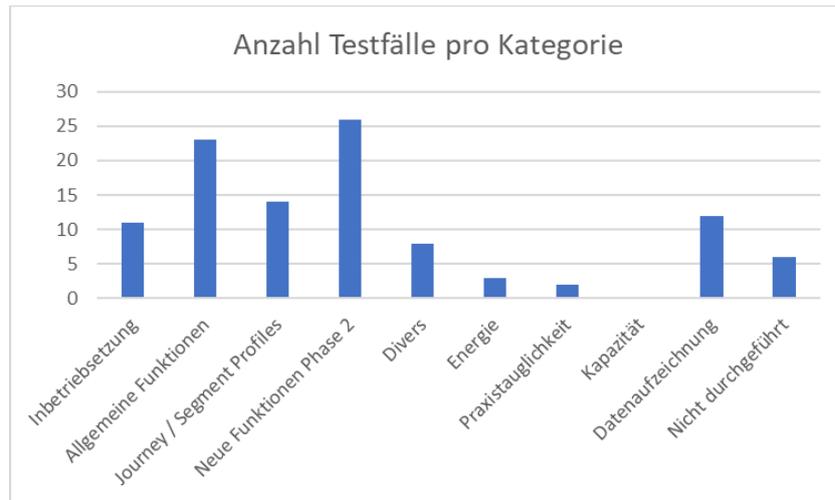


Illustration 5: nombre de cas de tests par catégorie

La catégorie «Nouvelles fonctions de la phase 2» se réfère à la fonction supplémentaire de l'ATO-OBU des SS125/126, qui a été mise en œuvre de manière complémentaire par le fournisseur (Siemens) par rapport à la phase 1 de l'ATO-OBU.

Remarque sur la catégorie «Capacité»: en raison de la baisse du budget alloué au projet ATO2Basic, les cas de test correspondants n'ont pas été réalisés pendant les week-ends de test disponibles.

Les particularités des cas de test figurent dans le document de référence 3 « ATO2Basic Phase 2 Testcases V2.1 ».

3. Mise en service avec le modèle de fonctionnement de l'ATO-OBU du fournisseur (Siemens)



Illustration 6: modèle de fonctionnement «DMI provisoire»

L'ATO-OBU ne dispose pas d'un DMI conforme au projet de normes, qui est mis en place par le biais de l'affichage de l'ETCS. Le système fonctionne à l'aide d'un DMI simple sans écran, qui se compose des éléments de commande suivants:

- ATO Start: enclenchement de la conduite automatique
- ATO Stop: déclenchement de la conduite automatique
- Skip Stop: omission d'arrêts (voir chapitre 3.2.5)
- Revoke Skip: annulation de l'omission d'arrêts (voir chapitre 3.2.5)

Remarque: en présence d'un DMI provisoire, il s'agit d'éléments de commande facultatifs en partie prévus dans le sous-ensemble 125. Les fonctions d'affichage de l'écran de l'ETCS n'ont pas été mises en œuvre du fait de l'absence du système ETCS Baseline 3.7 dans le véhicule. C'est pourquoi aucune évaluation de l'interface utilisateur et de l'opérabilité n'a pu être réalisée pendant la phase 2 du projet. Cette évaluation est prévue ou possible à partir de la phase 3 du projet ATO2Basic.

3.1. Fonctions de base

Pour vérifier le fonctionnement et les différentes fonctions des projets de normes ATO, les fonctions de base ci-après ont d'abord été contrôlées.

- Connexion de l'ATO-OBU à l'ATO-TS pour la transmission du profil d'itinéraire et de segment (via le réseau mobile public)
- ATO Start/Stop
- Désactivation de l'ATO avec le levier de marche/de freinage et le robinet de mécanicien
- Réaction du système de sécurité (ETCS)
- ETCS:
 - limites des niveaux ETCS (L2FS vers L STM (ZUB)/L STM (ZUB) vers L2FS)
 - arrêt au niveau de la fin de l'autorisation de circuler
- Prise en compte des interruptions de transmission des données (ATO-OBU vers ETCS/TCMS)
- Comportement lors de l'arrivée aux points de passage/points d'arrêt
 - Transit/arrêt à l'heure prévue
 - Mises à jour: raccourcir/allonger le temps imparti (mise à jour des prescriptions de production)
- Profils de segment corrects et nouveaux parcours via la mise à jour du profil du segment
- Connexion de l'ATO-TS au RCS (pour les courses d'essai, SR 4.0 TMS à l'avenir)

3.2. Fonctions mises en œuvre et contrôle de ces fonctions

Les fonctions ci-après ont été mises en œuvre et vérifiées au minimum au niveau fonctionnel.

- Régulation de l'adhérence
- Tronçons de ralentissement (area speed restrictions)
- Zones d'interdiction ATO (ATO-inhibition zone)
- Commande des portes
- Omission d'arrêts
- Section de protection
- Heure de départ
- End of Movement Authority Offset (compensation pour fin d'autorisation de circuler)

Les chapitres suivants proposent de plus amples détails sur ces fonctions.

3.2.1. Régulation de l'adhérence

Conformément au projet de norme SS125, l'ATO-OBU est équipé d'un régulateur d'adhérence. Cette fonction évite le dérapage ou le patinage des roues en cas de mauvaise adhérence entre la roue et le rail (rail mouillé ou verglacé p. ex.)

À partir de l'ATO-TS, le SS126 (via le profil de segment) transmet la valeur de l'adhérence par plages de 10% à l'ATO-OBU. L'ATO-OBU adapte alors la conduite en réduisant en conséquence la traction maximale requise ou le freinage maximal requis.

Si les valeurs d'adhérence ont été envoyées à l'ATO-OBU à partir du TCMS via le SS139, l'ATO-OBU les retransmet à l'ATO-TS dans une annonce de statut. Cependant, les valeurs du TCMS n'ont pas été utilisées avec le modèle de fonctionnement de l'ATO-OBU dans l'optique de la régulation.

Pendant la mise en œuvre, les valeurs d'adhérence sont superposées à l'effort de traction et à l'effort de freinage requis. Il a été constaté que l'effort de traction ou l'effort de freinage est plus bas lorsque les valeurs d'adhérence sont inférieures à 100%; le comportement de marche du véhicule est modifié en conséquence.

Lorsque l'adhérence est bonne, cela est visible uniquement avec une réduction de l'effort de traction. Si l'adhérence est mauvaise, l'anti-enrayeur s'enclenche plus rarement, selon une perception subjective (par rapport aux marches n'utilisant pas de régulateur d'adhérence).

Le régulateur d'adhérence utilisé dans le modèle de fonctionnement est appliqué selon le cadre normatif présenté au chapitre 2.3. Dans l'intervalle, le régulateur d'adhérence a vu son développement se poursuivre dans les instances concernées. Pendant les autres phases prévues (3, 4) du projet ATO2Basic, le régulateur d'adhérence doit donc faire l'objet d'une nouvelle étude et de nouveaux tests détaillés.

3.2.2. Tronçons de ralentissement (area speed restrictions)

Pour chaque segment de profil, il est possible de définir, dans certaines sections, une vitesse maximale différente de la vitesse de pleine voie générale. La fonction a été appliquée et vérifiée avec succès.

3.2.3. Zones d'interdiction ATO (ATO-inhibition zone)

Pour chaque segment de profil, il est possible de mettre en place, dans certaines sections, une zone d'interdiction ATO (circulation interdite avec l'ATO). Le personnel des locomotives doit donc reprendre le contrôle du véhicule. Lorsque le véhicule circule dans une zone d'interdiction ATO, l'ATO-OBU bascule en mode «Disengaging» («désactivé»). Si le conducteur ne reprend pas les commandes dans un délai de 5 s, le véhicule freine en appliquant un effort de freinage maximal. Les zones d'interdiction ATO ont été testées avec succès.

Remarque: seule la fonctionnalité décrite dans le sous-ensemble 125/126 a été mise en œuvre. Comme prévu dans le SS125, l'affichage de la zone d'interdiction ATO n'a pas été mis en œuvre avec le modèle de fonctionnement existant (voir également chap.3).

3.2.4. Commande des portes

À l'arrêt, l'ATO-OBU peut activer la libération sélective des portes prescrite par le profil d'itinéraire. Par ailleurs, l'ATO-OBU peut accomplir un cycle complet (libération-ouverture-fermeture-verrouillage). La fonction complète a été appliquée et vérifiée avec succès.

Remarque: dans le cadre des tests, la sécurité a été garantie par un personnel spécifique supplémentaire.

3.2.5. Omission d'arrêts

La fonction «Omission d'arrêts» (skip stopping point) peut être activée par le personnel des locomotives et le profil d'itinéraire. Le personnel des locomotives peut reprendre la main sur la fonction «Omission d'arrêts» avec le bouton «Revoke Skip». Cette reprise peut être effectuée indépendamment du fait que l'ordre ait été donné manuellement ou par le biais du profil d'itinéraire. La fonction a été exécutée avec toutes les configurations pour les cas de tests correspondants.

3.2.6. Section de protection

Comme la ligne Lausanne–Villeneuve ne comporte aucune section de protection, une telle section a été simulée dans le profil du segment. Conformément aux prévisions, l'ATO-OBU ne requiert aucun effort de traction lors du franchissement de cette section fictive. Il a été impossible de vérifier comment une section de protection est prise en compte dans le calcul du profil de circulation, car l'algorithme de régulation est la propriété intellectuelle du fournisseur.

3.2.7. Heure de départ

Avec la définition correspondante du profil d'itinéraire, le DMI peut indiquer au personnel des locomotives que l'heure de départ prescrite n'est pas encore atteinte. Dans le cadre du modèle de fonction utilisé, cette information est communiquée par un témoin lumineux sur les boutons de commande correspondants. Conformément aux futures STI, l'affichage du DMI de l'ETCS est utilisé selon Baseline 3 et peut être complété à l'aide d'un bouton/interrupteur. Comme un système ETCS BL 2.3.0d homologué a été utilisé pour les tests, les informations (heure de départ) n'ont pas pu être vérifiées sur le DMI. L'heure de départ indiquée par un témoin lumineux sur le bouton de commande correspondant a néanmoins pu être testée de manière concluante.

3.2.8. End of Movement Authority Offset (compensation pour fin d'autorisation de circuler)

Avant une fin de l'autorisation de circuler (EoA), l'arrêt a lieu avec une compensation pouvant être définie dans le profil de segment. Cet élément a été vérifié avec différentes valeurs. Le véhicule s'arrête à une distance prescrite par rapport au signal d'arrêt ETCS. Il a été constaté qu'un affichage de la compensation de l'EoA sur le DMI serait utile pour le personnel des locomotives. La norme ne prévoit pas actuellement cet aspect et l'information correspondante a été communiquée à Shift2Rail.

3.2.9. Synthèse des résultats du contrôle

Fonction	Degré de réalisation	Remarque
Régulation de l'adhérence	✓	Fonction mise en œuvre dans les sous-ensembles, processus de saisie des données non définis
Tronçons de ralentissement (area speed restrictions)	✓	Fonction mise en œuvre
Zones d'interdiction ATO (ATO-inhibition zone)	✓	Fonction mise en œuvre
Commande des portes	✓	Fonction mise en œuvre
Omission d'arrêts	✓	Fonction mise en œuvre

Section de protection	✓	Fonction mise en œuvre, potentiel d'amélioration communiqué à Shift2Rail
Heure de départ	✓	Mise en œuvre testée uniquement sur un DMI provisoire
End of Movement Authority Offset (compensation pour fin d'autorisation de circuler)	✓	Fonction mise en œuvre, potentiel d'amélioration communiqué à Shift2Rail

Tableau 7: vue d'ensemble du degré de réalisation des nouvelles fonctions

Les fonctions de base ont été appliquées dans l'ATO-OBU conformément aux projets de normes et testées en conséquence. La mise en œuvre des spécifications a été confirmée.

4. Observations tirées des essais réalisés

Les points suivants ont été observés pendant les courses de test sur la ligne Lausanne–Villeneuve, sur la période de septembre 2019 à juin 2020.

4.1. Comportement de conduite de base

4.1.1. Heure d'arrivée

Résumé

- Indépendamment du départ «ATO-Start par le personnel des locomotives», l'ATO-OBU régule l'heure d'arrivée prévue et affiche en matière de ponctualité une précision de quelques secondes.
- Pour bien respecter la ponctualité, il est aussi important de lancer au bon moment le début de la course ATO.

Pour les heures de départ et d'arrivée prescrites de manière statique dans le profil d'itinéraire, l'ATO-OBU calcule le profil de circulation de manière que le véhicule arrive à l'heure (à la seconde près).

Pour garantir une arrivée ponctuelle, il est impératif de ne pas subir de restrictions sur la voie comme des signaux à l'arrêt ou des limitations imprévues de la vitesse. Le fournisseur a optimisé l'ATO-OBU concernant la ponctualité lors de la mise en service. Tous les cas de test correspondants ont donné une heure d'arrivée à la seconde près, comme défini dans le profil d'itinéraire.

Les deux graphiques suivants proposent des exemples des données enregistrées concernant la ponctualité.

Exemple 1

Illustration 7 indique que le véhicule a atteint l'arrêt défini à Saint-Saphorin une seconde trop tôt, bien que le bouton de démarrage de l'ATO ait été actionné avec un retard de 14 secondes à Vevey.

2020-06-13, Train 97256, VV-STSA (ATO Driving)
Data source: TCMS data, Test Protocol

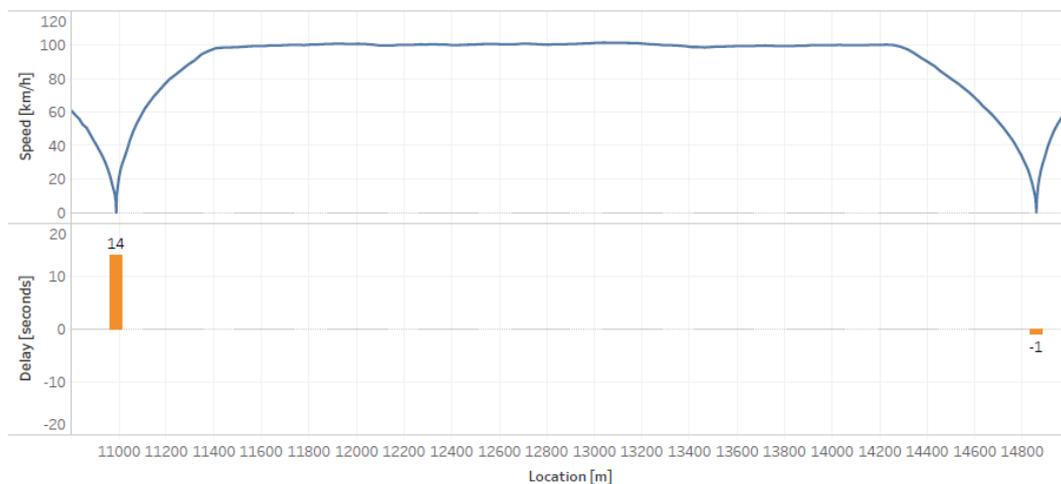


Illustration 7: course avec l'ATO entre Vevey (VV) et Saint-Saphorin (STSA)

Exemple 2

Illustration 8 (tronçon Montreux–Territet) indique de manière spécifique que l'ATO-OBU permet toujours une heure d'arrivée précise (à la seconde près). En cas de «ATO Start» ponctuel, le véhicule arrive aussi à l'heure définie, à la seconde près, et optimise la course du point de vue économique (besoin énergétique optimal).

2020-06-14, Train 97257, MX-TER (ATO Driving)
Data source: TCMS data, Test Protocol

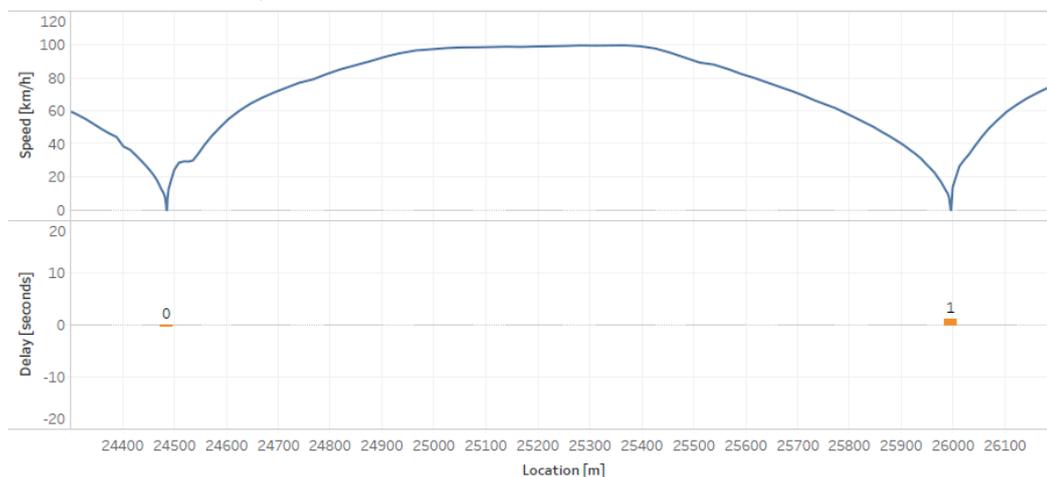


Illustration 8: course avec l'ATO entre Montreux (MX) et Territet (TER)

4.1.2. Position des arrêts

Lors de la réalisation des courses, aucune position d'arrêt absolue n'était disponible. Cet élément a été établi uniquement lors du travail de suivi.

Afin de déterminer la précision des arrêts, il a été procédé à une mesure de la dispersion relative de leur position. Dans cette optique, la bordure antérieure du marchepied escamotable de la première porte a été marquée pour la première course avec l'ATO. Pour les courses suivantes, l'écart a été mesuré par rapport au marquage.



Illustration 9: mesure du delta de la position de l'arrêt

4.1.3. Procédures liées aux arrêts

La dispersion des positions des arrêts sur la ligne Lausanne–Villeneuve a permis d'établir des statistiques selon lesquelles on constat des écarts à partir de 215 mesures individuelles (précision relative des arrêts).

La précision dépend de l'infrastructure et en particulier du positionnement des balises ETCS: à des fins de localisation, l'ATO-OBU utilise les balises ETCS et calcule la position actuelle à partir de la voie empruntée depuis la dernière balise. Pour des raisons techniques, la précision de l'odométrie diminue lorsque la distance avec la dernière balise franchie augmente. La position connue perd en précision. Selon les calculs du modèle de Shift2Rail, une balise doit se trouver à environ 70 m avant la position de l'arrêt pour une précision optimale des positions des arrêts de l'ATO.

Conditions-cadres des mesures

- Utilisation exclusive de l'infrastructure disponible pour l'ETCS
- Les balises non optimisées ou positionnées pour l'exploitation de l'ATO, prise en compte des directives d'étude de projet ETCS des CFF
- Distance entre les balises et le lieu de l'arrêt: jusqu'à 800 m

Il en résulte la représentation suivante des positions relatives des arrêts:

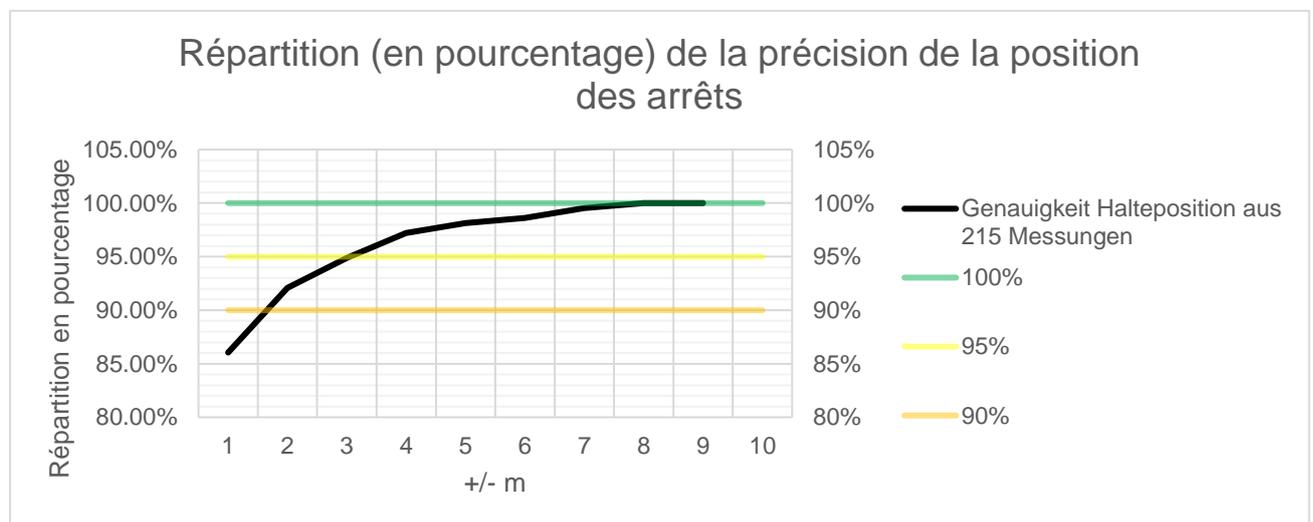


Illustration 10: positions des arrêts (215 mesures)

Les valeurs de l'axe des abscisses du diagramme précisent la plage de tolérance de la position des arrêts. L'axe des ordonnées indique le pourcentage des mesures se trouvant dans ladite plage.

Lorsque la plage augmente (= perte de précision des positions des arrêts), le pourcentage des mesures se trouvant dans la plage augmente.

4.1.3.1. Évaluation du respect des directives

Résumé

- **100%** des positions des arrêts mesurées respectent déjà, sur les lignes ETCS existantes, les directives pour le personnel des locomotives de +/-10 m concernant le trafic grandes lignes.
- **100%** respectent les directives de +/-5 m pour le trafic régional avec une position optimale des balises (97% de toutes les mesures, quelle que soit la distance avec les balises).
- **97%** respectent les directives de smartrail 4.0 (< +/-1,5 m) avec une position optimale des balises (85% de toutes les mesures, quelle que soit la distance avec les balises).

Les CFF appliquent diverses directives concernant la précision des positions des arrêts.

- smartrail 4.0 a défini une exigence de +/-1,5 m pour la précision de la position des arrêts.
- Les documents de formation à l'attention du personnel des locomotives indiquent une précision recommandée de +/-5 m pour le trafic régional et de +/-10 m pour le trafic grandes lignes.

Les 215 mesures de la précision de la position des arrêts ressortant de l'illustration 10 ont été comparées avec les directives susmentionnées. Il en ressort que la directive de +/-10 m a été respectée à 100% pour le trafic grandes lignes.

Si la plage de tolérance est ramenée à +/-5 m (directive pour le trafic régional), 97% des mesures se trouvent dans cette plage et donc seulement 3% des mesures n'ont pas respecté les directives pour le trafic régional.

En cas de réduction supplémentaire de la plage de tolérance au niveau de la directive de smartrail 4.0 (+/-1,5 m), 85% des mesures se trouvent dans cette plage. Déduction faite des 3% qui correspondent uniquement à la directive du trafic grandes lignes, 12% des mesures ne sont donc pas conformes à la directive de SR 4.0, mais respectent celle applicable au trafic régional.

L'illustration suivante présente cette répartition à l'aide d'un graphique.

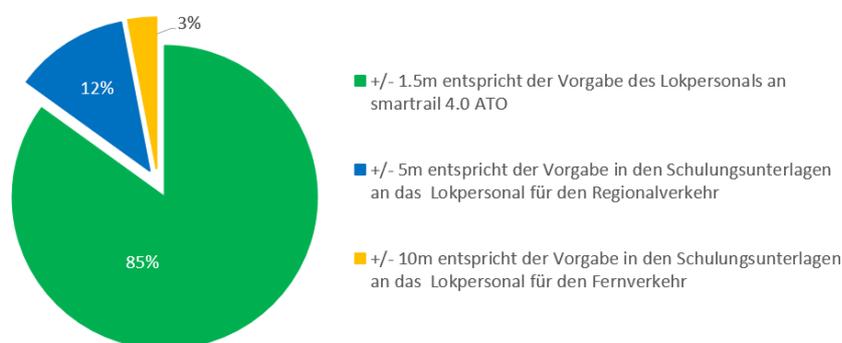


Illustration 11: pourcentage du respect des directives

Cette évaluation comporte toutes les mesures indépendamment de la distance de la dernière balise par rapport à la position de l'arrêt.

Afin d'évaluer le potentiel lié aux projets de normes, une autre analyse a porté sur seulement 61 mesures, dans le cadre desquelles la dernière balise se trouvait avant l'arrêt, à une distance optimale d'environ 70 m avant la position de l'arrêt, ce qui correspond aux recommandations de ShiftRail.

Il en résulte la répartition suivante:

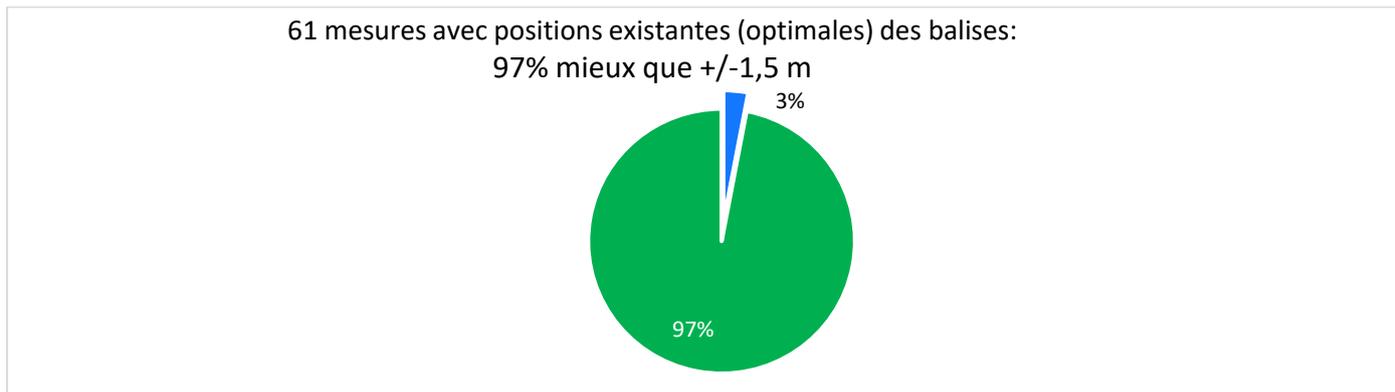


Illustration 12: position de l'arrêt avec une position optimale des balises et le modèle de fonctionnement de l'ATO-OBU

Les prescriptions applicables au personnel des locomotives pour le trafic régional ont été respectées à 100%.

Les directives de smartrail 4.0 sont respectées dans 97% des cas et 3% des mesures sont au-delà de cette directive, tout en respectant toutefois celle du trafic régional.

4.1.3.2. Analyse de la dépendance entre position des arrêts et distance des balises

Résumé

- Si la distance entre la balise et la position d'un arrêt est supérieure à la distance recommandée d'environ 70 m, la position de l'arrêt perd en précision.

Après avoir déterminé les positions absolues des arrêts, il a été procédé à une analyse présentant la dépendance entre la précision des arrêts et la distance de la dernière balise ETCS. On constate une perte de précision avec des distances croissantes entre les balises et la position des arrêts.

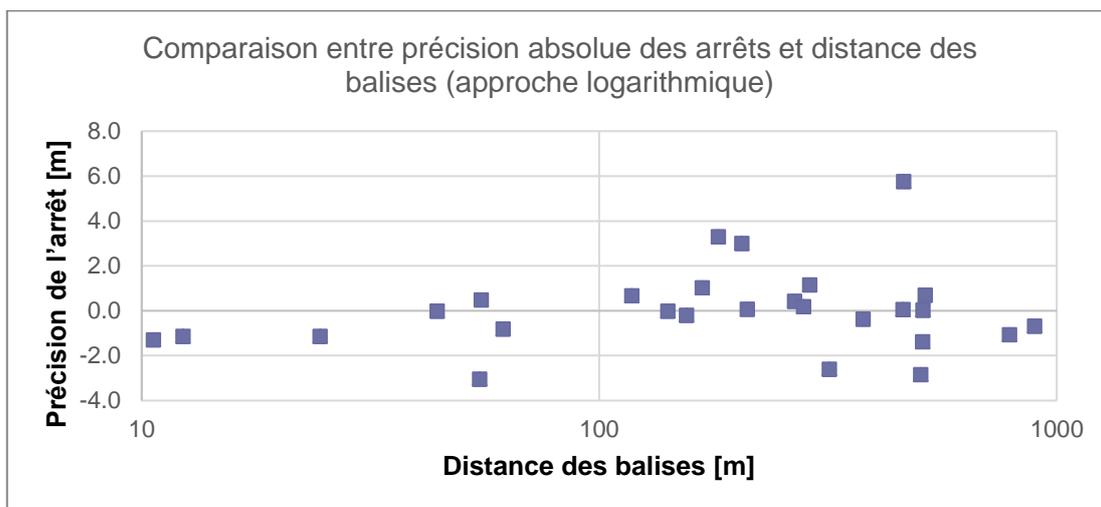


Illustration 13: précision des arrêts en relation avec les distances entre les balises et la position des arrêts

4.1.3.3. Étapes suivantes

Dans le sillage de la mise en œuvre des normes définitives, la phase 3 doit donner lieu à une nouvelle analyse de la précision des arrêts. Par la suite, les valeurs «aberrantes» restantes doivent être analysées de manière détaillée au vu des directives applicables.

Concernant l'OBU, mais aussi l'infrastructure, les dépendances entre l'odométrie, la position des balises et la base de données utilisée pour les profils de segment doivent être déterminées de manière détaillée.

4.2. Comportement de conduite étendu/autres paramètres

4.2.1. Diminution des retards

Résumé

- En cas de départ retardé, l'ATO-OBU vise à respecter l'heure d'arrivée planifiée conformément au profil de l'itinéraire.
- Les retards sont rattrapés selon les limites du système (accélération, courses proches de la courbe de freinage) du mieux possible ou sont réduits au niveau le plus bas possible.

Exemple 1

Numéro de train 97180 du 23.2.2019

Temps de parcours prévu entre Veytaux-Chillon et Pully: **30 min et 12 s (1812 s)**

Nombre d'arrêts jusqu'à Pully: **13**

Retard rattrapé: **194 s**

En raison de la situation de l'exploitation, le départ de Villeneuve et la poursuite de la marche à Veytaux-Chillon ont été retardés. L'ATO-OBU visait à chaque fois à respecter les heures d'arrivée selon le profil de l'itinéraire.

Le graphique suivant indique, pour cet essai, que le retard de 360 secondes sur l'ensemble de la ligne **a été réduit de 194 secondes**. Ainsi, le retard n'était plus que de 166 secondes à l'arrivée à la gare de destination. Les temps de correspondance des voyageurs sont simulés par la mesure de la position des arrêts et respectés en vertu des directives applicables (temps d'arrêt minimal de 15 secondes conformément au document «P20000826: prescriptions d'exploitation P, 6.3, chiffre 1).

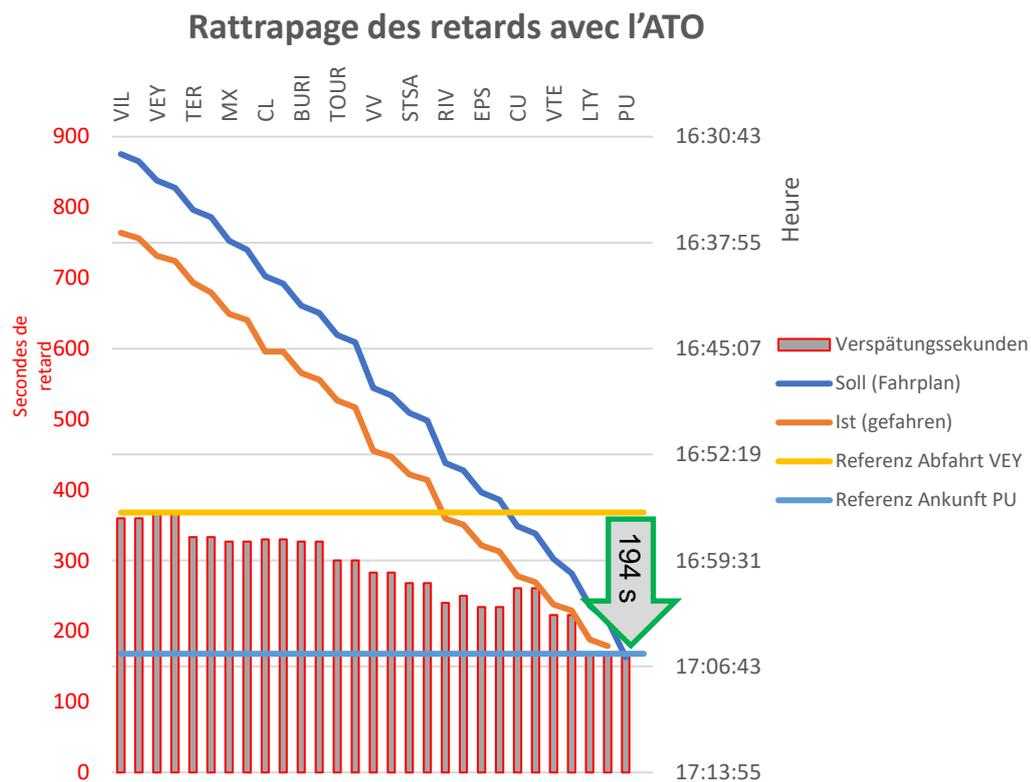


Illustration 14: diminution des retards, exemple 1

En cas de départ retardé à Veytaux-Chillon, **194 secondes ont été rattrapées** jusqu'à la fin de l'itinéraire à Pully (un arrêt avant Lausanne). Avec 13 arrêts au total (gares) sur la ligne, il est clair que le temps d'arrêt et l'embarquement/la descente des voyageurs jouent un rôle essentiel sur ces lignes (le temps d'arrêt minimal est de 15 secondes). La précision de la position des arrêts est également importante pour un échange de voyageurs optimal.

Le personnel des locomotives expérimenté pourrait/peut optimiser les temps. Il convient néanmoins de noter qu'une marche permanente selon les limites et pendant une longue période provoque une contrainte supplémentaire (stress) pour le personnel des locomotives. En revanche, l'exploitation de l'ATO permet aisément une marche selon les limites et sur une longue période. Le mécanicien peut alors se consacrer pleinement au respect des exigences de sécurité.

Exemple 2

Numéro de train 97255 du 14.6.2019

Temps de parcours prévu entre Pully et Villeneuve: **30 min et 12 s (1812 s)**

Nombre d'arrêts jusqu'à Pully: **14**

Retard rattrapé: **194 s** sur une durée indicative de 1524 s (Pully à Clarens).

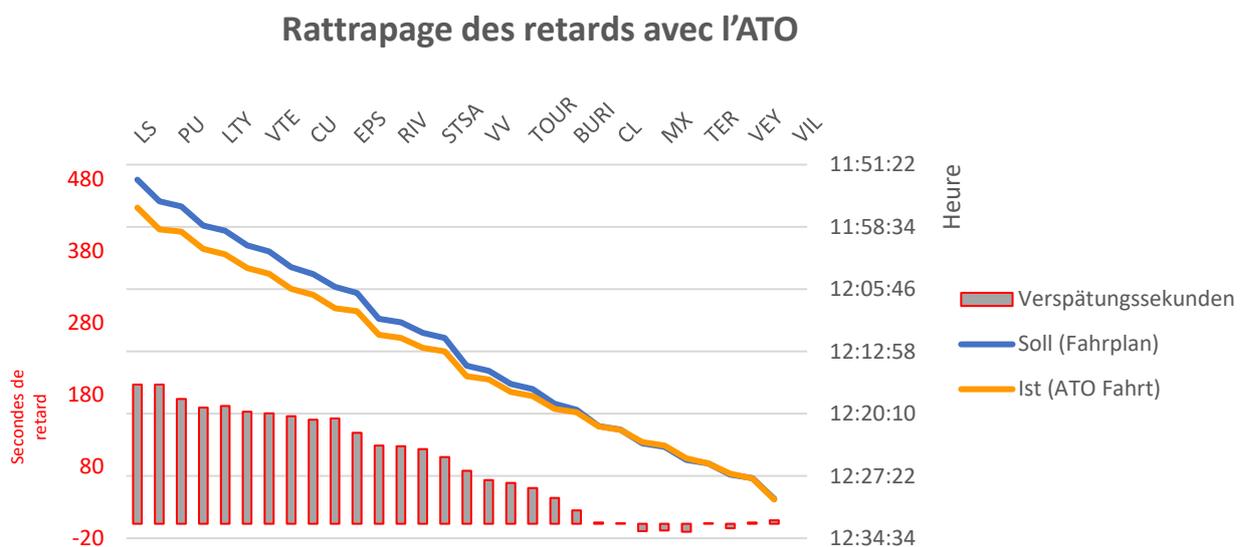


Illustration 15: diminution des retards, exemple 2

Cet exemple montre également une baisse du nombre de secondes de retard ou un rattrapage complet du retard. Le départ à Pully a eu lieu avec 194 s de retard (le fait que cette valeur soit identique à celle de l'exemple 1 est une coïncidence). L'arrivée prévue a eu lieu après dix arrêts, à Clarens. La ponctualité de Clarens à Villeneuve évolue dans une plage de plusieurs secondes autour des horaires prévus.

Résumé des exemples

Une application résolue du profil de circulation aux niveaux proches des limites du système (courbes de freinage et valeurs maximales d'accélération p. ex.) permet à ATO de rattraper les retards au maximum de ses possibilités et des passages précis aux positions des arrêts.

Une conduite manuelle dans les mêmes conditions requiert une concentration extrême pendant tout le trajet.

Dans les deux exemples susmentionnés, la valeur identique du retard rattrapé n'est qu'une pure coïncidence.

4.2.2. Course aux valeurs proches de la courbe de freinage

Résumé

- En cas de retard, la course régie par l'ATO est très proche de la courbe de freinage jusqu'à la fin de l'autorisation de circuler.

2020-02-23, Zug 97179, LS-VIL

Datenquelle: JRU data (TELOC data)

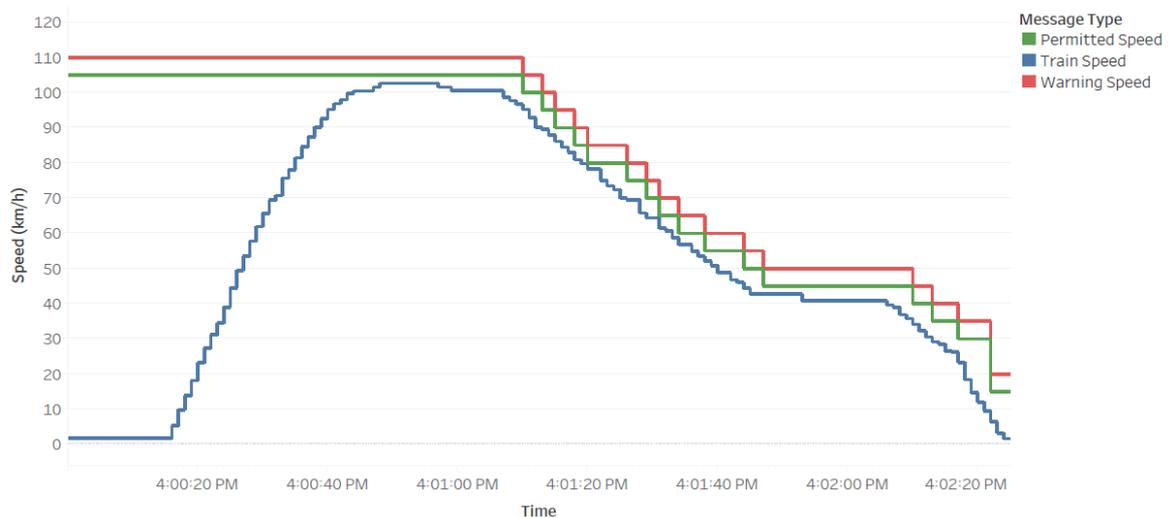


Illustration16: courses aux valeurs proches de la courbe de freinage

Selon l'illustration16, le comportement de conduite de l'ATO concernant la proximité avec la courbe de freinage est clairement visible: la course se déroule à une vitesse très proche de celle autorisée par l'ETCS («permitted speed»), mais avec une réserve en dessous de la courbe d'avertissement («warning speed»).

4.2.3. Consommation d'énergie

Résumé

- Afin de recueillir des données représentatives du potentiel d'économie d'énergie, d'autres courses comparatives complètes et compréhensibles doivent être exécutées. Le personnel des locomotives doit à cette occasion recevoir des consignes claires. La personne mobilisée doit être différente et les courses doivent être réalisées dans des conditions météorologiques variables.
- En cas de course comparative, une conduite très différente entre le personnel des locomotives et l'ATO est clairement identifiable. Dans un cas, la consommation d'énergie avec l'ATO est d'environ **25%** inférieure à la consommation d'énergie de la course manuelle.

Pendant les courses de test, de premières mesures **non représentatives** sur la consommation d'énergie ont été réalisées.

Les cas de test analysés sont des courses comparatives individuelles. Toutes les courses n'ont pas été analysées, car le suivi de tous les cas de test réalisés avec les courses comparatives manuelles aurait nécessité trop de travail. La phase 2 ne se concentrait pas sur la démonstration de la consommation d'énergie.

Après une première observation des différences générales du comportement de conduite sur la ligne (comparaison de l'endroit à partir duquel un freinage est appliqué (et comment il est appliqué) ou comment le train circule en mode roue libre), la comparaison de la consommation d'énergie a été établie de manière ciblée, en tenant compte de conditions et de contraintes temporelles si possible identiques (conformément à la hiérarchisation «La ponctualité avant la rentabilité»).

Remarques:

- Selon les indications du fabricant, le modèle de fonctionnement de l'OBU utilisé pour la phase 2 a été optimisé au niveau de la ponctualité des arrivées. En d'autres termes, l'ATO utilise toujours tout le temps disponible jusqu'à l'arrêt prévu et adopte une conduite économe en énergie tenant compte de ces conditions particulières.
- Concernant les cas de test associés au modèle de fonctionnement de la phase 2, la conduite économe en énergie n'était pas au premier plan.
- Une autorisation de circuler générale a été mise en place jusqu'à l'arrêt et au-delà.

L'illustration suivante montre une comparaison directe entre une marche manuelle et une marche avec l'ATO sur le tronçon entre Villette et Cully. Pour la course manuelle, la consigne du personnel des locomotives était la suivante: «Le respect le plus précis possible de la durée prescrite du trajet». Le personnel des locomotives a brillamment respecté cette consigne, en l'occurrence avec un écart < 1 s. Les deux courses se sont déroulées par temps sec et avec une bonne adhérence.

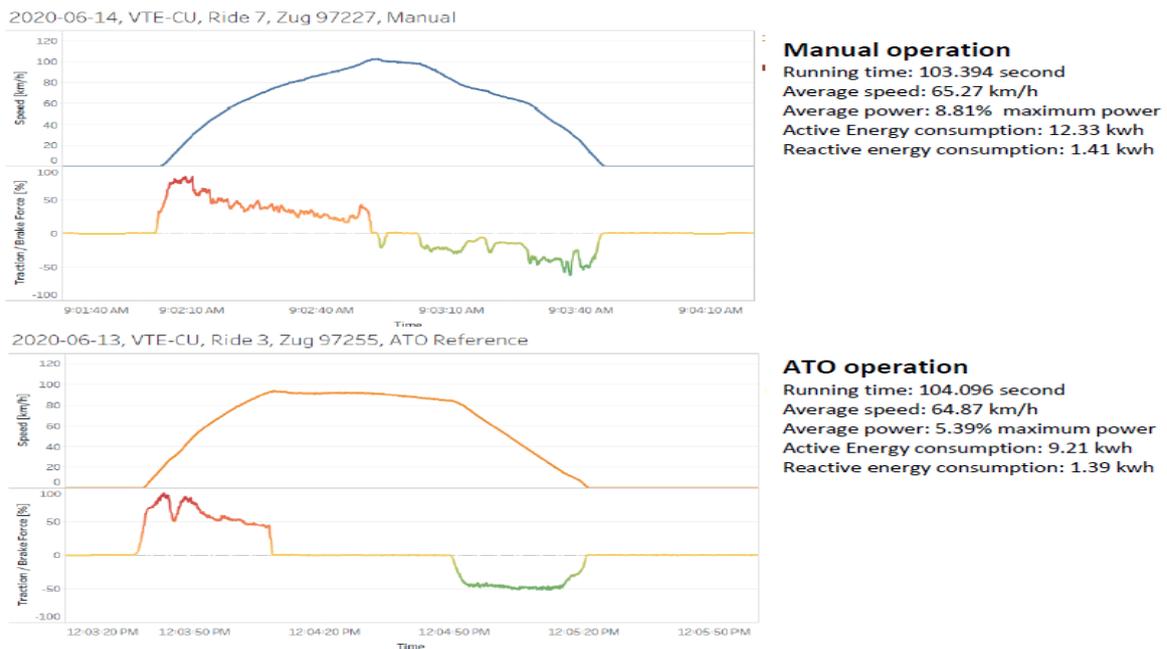


Illustration 17: comparaison de la consommation d'énergie course manuelle/course avec l'ATO

La comparaison présente la vitesse et la traction/le freinage requis (indiqué uniquement au niveau électrique, y compris la récupération, les calculs énergétiques avec les freins pneumatiques), mesurés pendant la durée du parcours sur le tronçon entre Villette (VTE) et Cully (CU).

Dans cet exemple, la différence de temps entre la course manuelle et la course avec l'ATO était d'environ 0,7 seconde, si bien que la différence de durée du trajet était négligeable concernant la consommation d'énergie.

La comparaison du comportement de conduite a mis en lumière, de manière intéressante, que la course manuelle a été régulée quasiment sur tout le tronçon, avec des accélérations ou des ralentissements (récupérés), alors que la course ATO a présenté d'abord une accélération plus forte, puis une séquence en roue libre et enfin un freinage plus marqué. Dans cet exemple, la consommation d'énergie avec l'ATO est environ inférieure de **25%** à la consommation enregistrée pendant la course manuelle.

Afin de recueillir des données représentatives du potentiel d'économie d'énergie mesuré, il y a lieu d'effectuer, pour les autres courses de test, un nombre si possible élevé de courses comparatives avec un personnel des locomotives différent et des conditions météorologiques variables.

4.2.4. Potentiel de rupture des pics de consommation

Du point de vue de l'alimentation en énergie, il serait souhaitable de réduire sensiblement, à court terme, la consommation d'énergie d'un train avec l'ATO afin de supprimer les pics de consommation. Il a donc été demandé à l'équipe ATO de vérifier les temps de réaction correspondant à une telle demande. Afin d'évaluer ce point, le cas de test suivant a été appliqué sur plusieurs tronçons:

- Pendant la course, un profil d'itinéraire mis à jour, avec une heure d'arrivée sensiblement plus tardive à l'arrêt suivant a été envoyé à l'ATO-OBU.
- Cela a provoqué, au niveau de l'OBU, une diminution sensible de la vitesse (avec une baisse correspondante de la consommation d'énergie à cet instant).

Le temps mesuré entre l'envoi du profil de l'itinéraire de l'ATO-TS (TMS) et la réaction de l'ATO-OBU va d'une à trois secondes. Cependant, il a été impossible de déterminer si ce temps de latence est représentatif de la chaîne de transmission (Internet et réseau mobile).

Le cas d'application «Suppression des pointes de consommation» n'est actuellement soumis à aucune exigence spécifique. Il convient de continuer à étudier, à faire des mesures, à analyser et à définir ensemble, avec le service spécialisé, si la mesure testée constitue une solution adaptée pour supprimer les pics de consommation, également en tenant compte des temps de latence et des modifications déjà prévisibles, comme le passage au futur réseau radio ferroviaire FRMCS.

4.2.5. Adhérence

Résumé

- Aucune différence pertinente concernant le comportement de conduite avec l'ATO n'a été constatée entre rails humides et rails secs.

Pendant la phase de mise en service, la fonction «Régulation de l'adhérence» a été testée (voir chapitre 3.2.1). En cas de transmission d'une mauvaise valeur d'adhérence (à l'aide du profil de segment) à l'ATO-OBU, l'effort de traction et l'effort de freinage sont réduits en conséquence.

Pendant le week-end d'essai du 22 et 23 février, aucune mauvaise condition d'adhérence n'a été constatée. Pendant le week-end d'essai du 13 et 14 juin, le temps a été pluvieux pendant quelques courses et l'adhérence a été mauvaise.

Concernant la précision des arrêts (locale ou temporelle), les mesures n'ont pas mis en évidence de différences statistiques significatives entre les courses sur rail humide et sec. Sur la voie ferrée humide, l'anti-enrayeur s'est mis en marche plus fréquemment (de manière audible) pendant les accélérations, car aucune valeur d'adhérence n'avait été transmise via l'ATO-TS sans traitement manuel spécifique.

L'illustration suivante compare l'arrêt sur rail humide (à gauche) et sec (à droite). Aucune différence significative n'a été constatée même en tenant compte du profil de circulation (près de la courbe de freinage (vitesse) en bleu, jusqu'à la vitesse permise en vert).

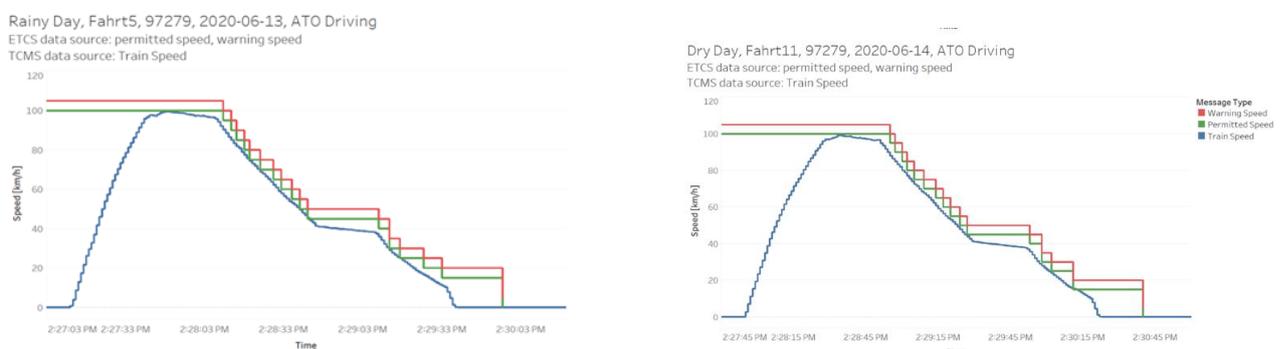


Illustration 18: comparaison du comportement de freinage avec une bonne adhérence et une mauvaise adhérence

4.2.6. Comportement de conduite dans les sections de protection

La ligne Lausanne–Villeneuve ne comporte aucune section de protection si bien qu'il n'a été possible de tester la fonction qu'avec une section de protection simulée pendant la phase 2 du projet ATO2Basic. Lors de l'entrée dans la section de protection définie dans le profil de segment, l'ATO-OBU n'exige plus aucun effort de traction.

4.2.7. Commande par RCS/mises à jour du profil d'itinéraire/boucles de régulation

Résumé

- Le moment des mises à jour du profil d'itinéraire pendant la course influence le comportement de la boucle externe et interne de régulation (voir **Illustration 19** ci-après), ce qui a des répercussions sur la ponctualité, la consommation d'énergie et le confort des voyageurs. On a parfois constaté une augmentation des mises à jour des fichiers de l'itinéraire. Avant d'inscrire la spécification dans les STI, d'autres analyses et vérifications sont nécessaires, dès que possible, afin d'atteindre une stabilité acceptable de l'exploitation lors de la mise en place de l'ATO.
- La dépendance entre type de véhicule (avec ses caractéristiques systémiques spécifiques) et les autres facteurs éventuels (accélération maximale, poids, etc.) doit être étudiée de manière approfondie.
- Le nombre optimal de points de jalonnement entre deux arrêts doit être tiré au clair.
- Dans ce domaine, il est nécessaire de coordonner les exigences correspondantes en vue d'harmoniser les deux boucles de régulation entre les processus d'exploitation et les exigences, le développement du TMS et l'ATO.

4.2.7.1. Vue d'ensemble des boucles de régulation

Un ATO-OBU n'est pas un système embarqué autonome, mais une intégration de systèmes côté voie et de systèmes embarqués. Il est possible de représenter (voir ci-après) la commande d'un véhicule équipé de l'ATO au sein de l'architecture du système par deux boucles de régulation fermées.

La boucle interne se trouve dans le véhicule et est commandée par l'ATO-OBU. Elle régule le comportement de conduite du véhicule entre des points définis sur le tronçon et dans le cadre des directives transmises par l'ATO-TS. Ces directives sont appliquées par l'ATO-OBU ou le personnel des locomotives, en tenant compte de la hiérarchisation des priorités «La sécurité avant la ponctualité avant la rentabilité». Dans ce contexte, «appliquer» désigne la transmission d'exigences relatives à la traction et au freinage par le SS139 ou le levier de marche/de freinage au TCMS, qui commande les systèmes de freinage et d'entraînement du véhicule. Dans le même

temps, le mécanicien de locomotive ou l'ATO-OBU suit le statut du train et actionne les portes, etc. conformément aux étapes des processus.

La boucle de régulation externe contient tous les éléments de l'infrastructure pouvant commander ou influencer le comportement de conduite du véhicule. Le RCS optimise le réseau et en déduit les directives applicables à chaque véhicule, qui sont transmises aux ATO-OBU à l'aide de l'ATO-TS. Si nécessaire, ces directives sont planifiées et transmises de nouveau. Dans l'optique d'une utilisation optimale du réseau et de la stabilité de l'exploitation, l'ATO-OBU doit mettre en œuvre ces directives sans délai et avec précision. En dehors du RCS, la boucle de régulation comporte également tous les éléments du système de contrôle des trains, qui influencent la régulation du RCS.

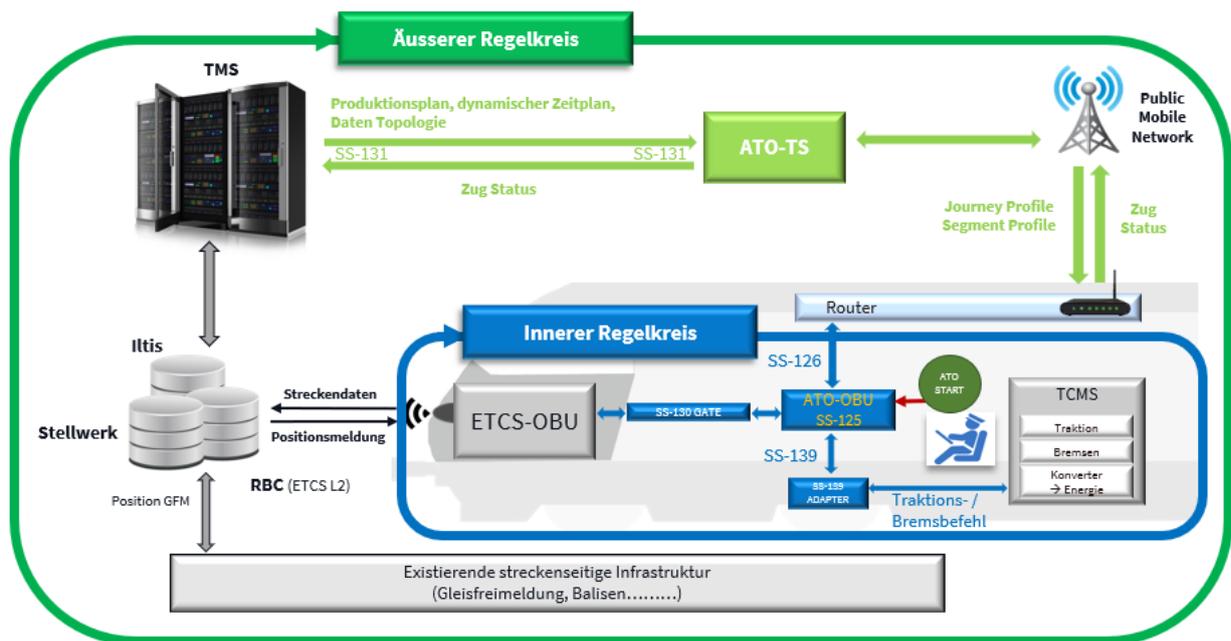


Illustration 19: architecture du système avec les boucles de commande

L'illustration présente l'architecture générique du système et indique les éléments composant la boucle de régulation interne (en bleu) et externe (en vert).

4.2.7.2. Courses avec données en direct du RCS

L'ATO-TS utilise les données en direct du RCS (données d'horaire, données relatives aux prévisions) en tant que base d'élaboration des profils d'itinéraire. Par exemple, si le RCS ne parvient pas à appliquer une heure d'arrivée prévue en raison de prévisions, une nouvelle consigne de production du RCS est transmise à l'ATO-TS. La consigne est ainsi appliquée dans un nouveau profil d'itinéraire, avec une heure d'arrivée modifiée en conséquence, puis transmise à l'ATO-OBU. Les temps de latence entre le RCS et l'ATO-OBU et leurs répercussions n'ont pas été pris en compte de manière systématique.

Comme la granularité ou la position connue du train est relativement vague avec le RCS actuel, les prévisions peuvent comporter certaines imprécisions.

Observations:

- Les courses pour lesquelles le profil d'itinéraire se fonde sur les données en direct du RCS sont réalisées avec une situation d'exploitation normale, conforme à l'horaire, sans particularités frappantes.
- En cas de situations d'exploitation dynamique, dans lesquelles les retards et les modifications ont des répercussions sur l'horaire, les accélérations ou les freinages sont toutefois perceptibles en tant que comportement de conduite «discontinu» après la mise à jour du profil d'itinéraire et le nouveau calcul du profil de circulation en résultant.
- En cas de retards, on a observé, à plusieurs reprises, que le retard entraîne un nouveau calcul de l'heure d'arrivée prévue du RCS en raison de la boucle de régulation RCS <-> ATO-OBU. Cela a pour conséquence le calcul d'un profil de circulation encore plus lent par l'ATO-OBU après la réception du profil d'itinéraire correspondant. Cet effet s'est aussi parfois accumulé.
- D'autres courses de test doivent permettre d'analyser les dépendances de la boucle de régulation interne et externe (voir Illustration 19) afin de garantir une exploitation optimale et stable.
- Le calcul actif de l'heure d'arrivée prévue est réalisé dans l'ATO-OBU à l'aide des propriétés actuelles du véhicule. Un calcul des prévisions spécifique au véhicule et tenant compte du profil de circulation effectif dans le RCS permettrait ainsi d'améliorer sensiblement la précision.

Il ressort des observations susmentionnées qu'il faut accorder une attention particulière à deux éléments: l'influence, sur le confort des voyageurs, du moment de la mise à jour du profil d'itinéraire pendant la course et la boucle de régulation externe (ATO-OBU en relation avec le TMS). Pour ce faire, il faut procéder à des analyses et à une série d'autres courses de test pour contrôler ces premiers résultats. Toutefois, la dépendance entre le type de véhicule (comportement) et d'autres facteurs éventuels (accélération maximale, poids, etc.) doit être étudiée, car l'utilisation de ces données est synonyme d'un potentiel d'optimisation considérable. Pour l'objectif du système SR 4.0, les implications sont les suivantes:

- Dans le cadre des interactions entre boucle de régulation interne (TCMS, ATO-OBU, etc.) et externe (TMS, système ferroviaire, etc.), un algorithme de régulation approprié doit être élaboré, expérimenté et optimisé afin de pouvoir réaliser un changement sans accroc du comportement de conduite.
- Cela requiert une coordination des besoins correspondants entre les processus et exigences d'exploitation, le développement du TMS et l'ATO. Cette démarche vise à définir des paramètres (le cas échéant adaptés au véhicule) pour les exigences correspondantes du système global ou à appliquer une boucle de régulation améliorée de

manière continue sur la base des données en résultant. À partir d'un certain moment, cela ne sera pas possible sans l'intelligence artificielle.

- L'optimisation déjà envisagée des technologies du système, l'harmonisation des interfaces et protocoles (OCORA p. ex.) ainsi que l'extension systémique du volume et de la densité des données doivent poursuivre leur développement afin d'exploiter les potentiels susmentionnés des boucles de régulation.

Il convient également d'étudier le nombre optimal de points de jalonnement entre deux arrêts. Des points de jalonnement trop nombreux pourraient provoquer un comportement de conduite irrégulier et une consommation d'énergie élevée.

5. Bilan

Ce chapitre résume les résultats des courses d'essai menées sur la ligne Lausanne–Villeneuve dans le cadre du projet ATO2Basic ainsi que les courses de préparation des CFF pour le Shift2Rail DB Cargo ATO Freight Demonstrator (voir document Rapport DB Cargo Pilot Vorbereitung Sion-Sierre).

Il propose également, à la date de publication du présent document, un état des connaissances concernant les propriétés et le potentiel de l'ATO avec le degré d'automatisation GoA2 pour le trafic régional. Les propriétés répertoriées ci-après de l'ATO sont évoquées de manière détaillée dans les sous-chapitres suivants:

- Applicabilité des projets de normes des STI pour l'exploitation ferroviaire suisse
- Comportement de conduite
- Ponctualité
- Position des arrêts
- Économies d'énergie
- Confort pour les voyageurs
- Intérêt pour l'exploitation ferroviaire et le personnel des locomotives

5.1. Réalisation des objectifs de la phase

Objectif		Remarque
Exploitation de l'ATO avec toutes les interfaces de l'ATO-OBUS, conformément au projet de normes relatif aux STI (si cela est faisable sur le plan technique)	✓	Les tests en conditions réelles ont été réalisés avec un modèle de fonctionnement de l'ATO-OBUS dûment préparé.
Exploitation de marche avec interface bidirectionnelle vers l'ATO-TS et mise en œuvre des directives d'horaire dynamiques par le RCS	✓	Des marches ont été réalisées avec les directives correspondantes, la mise en œuvre a été démontrée et un potentiel d'amélioration a été identifié.
Observations approfondies du comportement de conduite avec une fonctionnalité étendue par rapport à la phase 1, détermination du potentiel	✓	Les observations ont été réalisées et sont précisées dans le présent document.
Contrôle que le fonctionnement du système ATO n'a aucune répercussion négative sur l'exploitation ferroviaire	✓	Aucune répercussion négative sur l'exploitation ferroviaire n'a été constatée. Il existe néanmoins un potentiel d'amélioration.
Démonstration de faisabilité démontrant que l'ATO de niveau GoA2 avec rattachement à l'ETCS selon le SS130 peut être mis en œuvre avec l'ETCS Baseline 2.3.0d	✓	En principe, le système ATO de niveau GoA2 peut déjà être utilisé avec Baseline 2.3.0.d.

Tableau 8: vue d'ensemble de la réalisation des objectifs de la phase

5.2. Applicabilité des projets de normes des STI pour l'exploitation ferroviaire suisse

Actuellement, l'exploitation ferroviaire suisse ne subit aucun préjudice de l'application de l'ATO avec les interfaces conformes aux STI sous certaines conditions (analyses et essai en exploitation de la dépendance entre les boucles de régulation et adaptations éventuelles dans les spécifications). Pendant la phase 2 du projet ATO2Basic, il a été possible d'identifier un grand potentiel concernant l'utilisation de l'ATO.

Cependant, plusieurs points ont été constatés et doivent être impérativement pris en compte dans la spécification planifiée pour la norme des STI (voir chapitre 0). Divers points ont déjà été communiqués au groupe de travail de Shift2Rail: ils sont absolument nécessaires et intègrent un potentiel d'amélioration significatif concernant les spécifications prévues pour la norme des STI. L'objectif est d'optimiser les interactions entre l'ATO et les systèmes du TMS en général, notamment avec le futur TMS.

Les normes définitives des STI 2022 prévoient une interaction de l'ATO-OBU avec un ETCS-OBU et une version logicielle de Baseline 3.7 (3.6 avec interface ATO et adaptations du DMI pour les informations de l'ATO) ou supérieure. À l'inverse, il a été possible de démontrer que l'ATO-GoA2 peut déjà être exploité avec l'ETCS-OBU équipé du système actuel Baseline 2.3.0.d et que ce système apporte une grande contribution pour améliorer la stabilité de l'horaire et augmenter la capacité des nœuds, tout en maximisant le potentiel en matière d'économie d'énergie. L'introduction de l'ATO ne requiert pas de mise à niveau de l'équipement embarqué de l'ETCS pour la flotte ETCS circulant en Suisse.

5.3. Comportement de conduite

L'ATO montre une régulation très précise du profil de circulation. En présence d'impératifs de temps, la circulation s'opère au plus près des courbes de vitesse et de freinage ETCS prescrites.

Le futur potentiel d'optimisation réside dans l'utilisation des différentes courbes de freinage. La courbe d'avertissement ETCS est mise en place afin d'informer en temps voulu le mécanicien de locomotive d'un serrage imposé imminent pendant une course manuelle. Avec l'introduction concluante de l'ATO, il serait possible de renoncer à la courbe d'avertissement pour permettre un gain de capacité maximal. Il est ici important que la régulation de l'ATO-OBU ne déclenche pas de serrage imposé.

5.4. Ponctualité

La régulation de l'ATO-OBU est toujours très précise, si bien qu'on observe un écart à la seconde près entre l'arrivée prévue (selon le profil de l'itinéraire) et l'arrivée effective. Cela suppose que l'heure d'arrivée puisse être respectée sur la base de l'heure de départ à l'arrêt précédent et des vitesses maximales de la ligne.

Même en cas de retard, l'ATO-OBU vise la ponctualité et opère jusqu'à l'arrêt suivant une circulation conforme au comportement de conduite décrit au chapitre 5.3 et si possible en optimisant la consommation d'énergie. Ainsi, le retard est réduit dans la mesure du possible sur le tronçon correspondant.

5.5. Position des arrêts

Rien que l'application du modèle de fonctionnement a permis le respect, à 97%, des exigences concernant smartrail 4.0 (avec les balises positionnées en conséquence). Toutes les directives issues des documents de formation du personnel des locomotives peuvent d'ores et déjà être respectées avec l'infrastructure en place.

5.6. Économies d'énergie

Les économies d'énergie sont possibles en fonction du véhicule, et notamment par la diminution des accélérations et des freinages, ce qui a toutefois des répercussions sur la ponctualité selon les directives concernant l'horaire.

Les courses comparatives entre l'ATO et la course manuelle (courses individuelles) ont permis d'observer un potentiel d'économies d'énergie de 37% au maximum. Il a également été constaté que, lorsque le personnel des locomotives se concentre sur une conduite économe en énergie, la précision des arrivées, tant concernant les horaires que la position (ce qui est compréhensible), ne peut pas rivaliser avec la précision de l'ATO (voir référence 1).

5.7. Comportement dynamique de circulation/de freinage

L'équipe ATO ne connaît aucune définition concrète du confort des voyageurs à l'aide du comportement dynamique de circulation/de freinage, qui pourrait être vérifiée à l'aide de paramètres mesurables.

La définition selon les documents d'acquisition n'est ici pas applicable, car les valeurs correspondantes, de par leur définition, sont déterminées pour de longues lignes et ne tiennent pas compte du comportement de conduite direct lors d'une arrivée et d'un freinage.

L'impression subjective de l'équipe de test avec les courses régies par l'ATO est la suivante: on ne distingue guère de différence entre les courses ATO et les courses régulières dans le trafic régional. Le cas échéant, l'équipe a pu avoir l'impression de courses manuelles plus douces juste après le départ ou juste avant un arrêt. Lors du rattrapage des retards, l'équipe a aussi perçu une accélération rapide et un freinage vigoureux. Lors du franchissement d'aiguilles, l'ATO applique si nécessaire la vitesse maximale autorisée dans ce cas de figure alors que les courses manuelles ont été réalisées à une vitesse individuelle et réduite, subjectivement plus confortable.

5.8. Intérêt pour l'exploitation ferroviaire et le personnel des locomotives

5.8.1. Intérêt de l'ATO présenté par l'industrie et son évaluation

Dès 2017, l'industrie a évoqué les potentiels suivants de l'ATO (voir document de référence 2 Présentation ATO/DAS over ETCS-The way towards unattended operation for Main Lines - Alstom, fév. 2017) sur la base d'une analyse de différents projets:

- **Potentiel d'économie d'énergie jusqu'à 42% pour le trafic régional**
- **Gain de capacité jusqu'à 30%**

5.8.1.1. Évaluation du potentiel d'économie d'énergie

Les courses de test ont permis d'observer un potentiel d'économie d'énergie de 37% au maximum à l'occasion de mesures individuelles. Concernant l'OBU utilisé pendant la phase 2 du projet ATO2Basic, il s'agit d'un modèle de fonctionnement assorti de projets de normes pour les spécifications d'interfaces et ne présentant pas un statut de prototype ou de produit sans

spécifications. Partant de cette base, la déclaration de l'industrie selon le chapitre 5.8.1 semble au minimum réaliste ou possible pour certains tronçons. Ce n'est qu'à l'issue d'un long essai d'exploitation (et aussi uniquement pour ces tronçons) qu'il sera possible de déterminer une économie d'énergie moyenne réaliste.

5.8.1.2. Évaluation de la hausse des capacités (stabilité, capacité des nœuds)

Du fait de la précision observée de la régulation de l'ATO aux limites du système (proximité du profil parcouru par rapport à la courbe de freinage, et aussi en cas de mauvaises conditions d'adhérence), le potentiel supposé concernant la hausse des capacités est considéré comme réaliste. La précision spatiale des arrêts peut également contribuer à la stabilité de l'horaire. On trouve un intérêt supplémentaire, à savoir que la régulation du changement des passagers peut être améliorée à l'aide de mesures adaptées sur les quais, ce qui permet d'optimiser le temps d'embarquement/de descente des passagers.

5.8.2. Évaluation du potentiel de l'ATO de niveau GoA2 pour soulager le personnel des locomotives

L'ATO a le potentiel pour permettre une circulation ponctuelle, précise (position des arrêts) et efficace au niveau énergétique. L'ATO-OBU calcule en permanence un profil de circulation optimal pendant toute la durée de la marche. Pour le personnel des locomotives, il est difficile de surveiller en même temps, en permanence et de manière répétitive les trois paramètres (temps, position des arrêts, énergie) pendant toute la durée du tour de service tout en s'acquittant de ses tâches de sécurité. Dans ce domaine, l'ATO peut soulager le personnel des locomotives et lui apporter une aide très précieuse, en particulier pour les nœuds.

L'ATO permet une circulation précise, proche des limites des courbes de vitesse du système de contrôle des trains. Une circulation proche des limites de la zone «jaune» (annonce de freinage) et «orange» (avertissement) de l'ETCS requiert une concentration élevée du personnel des locomotives. Elle est très difficilement réalisable sur une longue période.

L'utilisation de l'ATO permet de soulager le personnel des locomotives dans son travail lorsqu'il est confronté à des situations répétées et/ou complexes et durables. Le personnel peut alors se consacrer à ses tâches importantes et essentielles (surveillance de l'horaire/des voyageurs et accompagnement des voyageurs), que l'ATO de niveau GoA2 ne peut pas exécuter. Pendant une course régie par l'ATO, le personnel n'a pas à s'occuper des retards. L'ATO se révèle également bénéfique pour le personnel des locomotives en raison des exigences étendues et des situations de stress auxquelles il est confronté du fait du développement de la capacité des nœuds ou de la future extension complémentaire de l'offre.

Il reste encore à déterminer où et quand (niveaux spatial et temporel) l'ATO de niveau GoA2 doit être utilisé pour pouvoir soulager le personnel des locomotives, de manière que ce dernier puisse se concentrer pleinement sur la sécurité, conformément à l'instruction «La sécurité avant la ponctualité avant la rentabilité» (ex.: nœuds aux heures de grande affluence) sans perdre leur concentration.

6. Perspectives

D'autres courses de test de la phase 2 ainsi que les phases 3 et 4 déjà planifiées (essai d'exploitation) du projet ATO2Basic ont dû être annulées en raison d'une baisse du budget 2020 et de la diminution des moyens alloués aux CP21-24.

Pendant la finalisation des standards Shift2Rail, les activités de la phase 3 et la phase 4 en tant qu'essai d'exploitation commerciale sont indispensables. Pendant ces phases, les standards définitifs doivent être évalués et l'applicabilité pour le personnel des locomotives doit être prouvée. Des mesures représentatives doivent aussi être effectuées sur la base des prescriptions de performance de l'industrie et exécutées impérativement avant la validation des spécifications dans les STI.

Les thèmes connus depuis la phase 2 et devant être analysés pendant la phase 3 sont les suivants:

- Analyse approfondie de l'algorithme de régulation, notamment en rapport avec la phase sans traction dans les sections de protection;
- Analyse des exigences minimales pour adapter les règles d'études de projet ETCS aux lignes soumises à une exploitation avec l'ATO (positions supplémentaires des balises p. ex.), afin de pouvoir prendre ces éléments en compte en cas de mises à niveau des tronçons L2 existants et/ou d'extensions des tronçons L2;
- Contrôle approfondi de la précision de la position des arrêts et analyse détaillée des données de l'OBU et de l'infrastructure afin de déterminer les causes de l'arrêt aux positions ne correspondant pas à la directive;
- Détermination des dépendances spécifiques du véhicule de l'algorithme de régulation afin d'optimiser le profil de circulation;
- Étude systématique du comportement de conduite en cas de mauvaise adhérence;
- Mesures détaillées de comparaison énergétique, analyses détaillées du mécanisme d'action, comparaison des stratégies d'économie d'énergie de la Confédération et des CFF;
- Analyse du potentiel d'optimisation spécifique de l'infrastructure et des véhicules.

Indépendamment du projet ATO2Basic, des courses de test sont réalisées avec un train de marchandises dans le cadre du projet «IP5 ATO GOA2 Cargo Demonstrator» de Shift2Rail/DB Cargo, pendant lequel les spécifications sont analysées pour le déploiement d'un train de marchandises. Afin de vérifier l'infrastructure de test, en particulier les profils de segment, des courses de vérification préalables ont eu lieu avec le véhicule utilisé pour le projet ATO2Basic. Les observations en découlant ont été consignées dans un document séparé dans le cadre de l'assistance des CFF prodiguée pour ces projets pilotes définis par DB-Cargo (voir document Rapport DB Cargo Pilot Vorbereitung Sion-Sierre). Les résultats de ces courses de vérification peuvent être utiles au présent rapport.

7. Remarques spécifiques des CFF

À l'occasion des courses, il a été constaté que le modèle de fonctionnement actuel de l'ATO-OBU réagissait de manière très sensible aux incohérences du profil de segment:

- À la fin du profil de segment se trouvait un gradient dont la longueur a dépassé la fin du segment. L'OBU a donc adopté le statut «Disengaged».
- En cas d'absence de données de balises dans le profil de segment, l'OBU est passé en mode «Disengaged», mais pas dans tous les cas.

Ces phénomènes n'ont pas été étudiés en détail avec le fabricant en raison de l'arrêt des courses de test (coupe budgétaire) et parce que l'ATO-OBU est un modèle de fonctionnement en développement. En principe, il est néanmoins impossible de garantir à 100%, pour les produits commerciaux ultérieurs de différents fabricants, la compensation complète d'erreurs ou de défauts.

Une attention particulière doit donc être apportée à l'optimisation de l'automatisation et des données de base afin de générer les profils de segment. Les causes des incohérences et particularités frappantes relevées doivent être suivies jusqu'à la source (root cause). Les données de base erronées doivent être repérées dès que possible dans la chaîne des processus et corrigées, et être également contrôlées avant l'envoi à l'OBU. Il est important que les données topologiques utilisées pour élaborer les profils de segment présentent un niveau de qualité approprié lors de l'introduction de l'ATO.

8. Découvertes dans les normes

Au cours du projet, divers résultats et un potentiel d'amélioration ont été identifiés dans les spécifications (gestion de l'énergie, commande du TMS comme les valeurs maximales d'accélération) et communiqués à Shift2Rail. Ils sont actuellement discutés ou en cours de traitement. En principe, les résultats peuvent être répartis dans les groupes suivants:

a. Fonctionnalité absente

Pendant l'examen des projets de normes pour la préparation des tests de la phase 2 du projet ATO2Basic, certaines idées n'ont pas pu être mises en œuvre par un TMS dans les cas de test concernant les contrôles en rapport avec des scénarios de commande complexes. En effet, la fonctionnalité ici nécessaire ne figurait pas dans les projets de normes. La fonctionnalité requise est attribuée à ce groupe.

b. Nécessité d'un contrôle (non couvert par le modèle de fonctionnement)

La préparation des tests a mis en lumière quelques résultats devant être contrôlés du point de vue de leur auteur, mais qui n'ont pas pu être testés en raison d'une fonctionnalité non mise en œuvre (absence de DMI conforme au standard p. ex.) L'absence de contrôle de ces résultats du fait de la fonctionnalité non mise en œuvre est attribuée à ce groupe.

c. Particularités frappantes pendant les courses d'essai

Dans ce groupe, les résultats ont été identifiés pendant les courses d'essai et signalés à Shift2Rail.

d. Propositions d'amélioration/remarques sans référence à ATO2Basic

Il s'agit ici des questions, remarques ou potentiels d'améliorations constatés lors du contrôle des normes (y c. les exigences/adaptations identifiées par le personnel des locomotives) communiqués à Shift2Rail, sans référence directe aux projets pilotes ATO2Basic. Dans le même temps, plusieurs points ont été identifiés et sont indispensables pour encourager l'acceptation du personnel des locomotives. Une augmentation par paliers des performances de l'ATO, sans mise à niveau correspondante de l'ATO-OBU (en particulier de son logiciel) est également requise.

9. Liste des documents de référence

1. Rapport DB Cargo Pilot Vorbereitung Sion-Sierre
2. Présentation ATO/DAS over ETCS-The way towards unattended operation for Main Lines
- Alstom, fév. 2017
3. ATO2Basic Phase 2 Testcases V2.1
4. Rapport de test 2019 publié sur le [site Web de smartrail 4.0](#)