

Navettes automatisées TPF à Marly

Phase 2 : Rapport intermédiaire N°1



Source : TPF | Jo Bersier

Version définitive

Octobre 2020

Document établi par les Transports publics fribourgeois et la
Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg



Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg



MARLY INNOVATION CENTER

1. Introduction

Pour cette nouvelle phase du projet des navettes automatisées des TPF à Marly, les Transports publics fribourgeois (TPF) continuent leur collaboration avec la Haute Ecole d'ingénierie et d'architecture de Fribourg (HEIA-FR) pour l'élaboration des rapports d'expérience publiés tous les 6 mois par l'Office fédéral des Routes (OFROU).

Toutes les informations sont dorénavant regroupées dans un seul rapport élaboré conjointement par les deux entités. La HEIA-FR apporte ainsi sa vision académique et scientifique tandis que les TPF peuvent faire état de l'exploitation concrète rencontrée sur le site du Marly Innovation Center (MIC). Tout d'abord, une explication du contexte permet de rappeler le cadre du projet. Ensuite, les développements effectués durant les six derniers mois sont présentés suivi des différents résultats constatés. Finalement, la suite du projet et les développements futurs sont évoqués.

Ce rapport s'étend sur la période du 1^{er} avril au 30 septembre 2020 soit le premier semestre de la phase 2 du projet.

2. Contexte

La première phase de l'essai TPF à Marly s'est terminée le 31 mars 2020. Les TPF ont souhaité démarrer une nouvelle phase d'essai et ont dû pour se faire déposer une nouvelle demande auprès des autorités fédérales compétentes qui a été approuvée pour un maximum de deux ans. Trois axes principaux seront étudiés et développés durant cette seconde phase :

- Cadence 7.5 minutes : le but est d'augmenter la vitesse et effectuer des simulations
- Téléopération : ce projet est développé grâce à Swissmoves et ROSAS plus particulièrement. Les objectifs principaux pour TPF sont d'élaborer un cahier des charges technologiques, effectuer des simulations, établir des processus, étudier les impacts sociaux-économiques et définir les tâches des téléopérateurs du futur.
- Collaboration avec le domaine ferroviaire sur le thème de l'automatisation : les TPF participe au programme SmartRail 4.0. Le but est d'échanger pour trouver les points communs et différences entre les mondes routiers et ferroviaires, de développer des concepts cohérents pour les deux domaines également en lien avec la téléopération par exemple.

Pour atteindre ces objectifs, les TPF collaborent avec la HEIA-FR et l'initiative Swissmoves (<https://swissmoves.ch>). Cette initiative regroupe des experts de la HEIA-FR mais également de l'Université de Droit de Fribourg (UniFR) et de la Haute Ecole de Gestion de Fribourg (HEG-FR). Cette pluridisciplinarité apporte des visions différentes et constituent un réel atout pour les réflexions concernant la mobilité du futur.

Pour cette 2^{ème} phase, le parcours reste identique et les deux mêmes navettes Navya sont en circulation. Les horaires officiels et publiés sur Internet restent valables. Une cadence à 30 minutes est mise en place de 6h30 à 18h30 avec un renforcement à 15 minutes les heures de pointe du matin et du soir.

Par contre, le site du Marly Innovation Center est en plein chamboulement. En effet, la première grande étape du développement du site a démarré avec la construction de plusieurs immeubles d'habitations entraînant des perturbations avec lesquels il faut s'adapter pour garantir une exploitation la plus stable possible pour les clients. De nombreuses fouilles sont creusées pour l'installation de différentes canalisations donnant parfois l'impression que le tracé devient un parcours du combattant. Heureusement, tous les acteurs, responsables de chantier, ouvriers et grooms, font le maximum pour que la cohabitation se déroule au mieux. Mais parfois, le véhicule de substitution doit prendre le relais des navettes qui sont trop gênées par la présence de machines de chantier sur leur parcours par exemple car la sécurité de tous prime.



Figure 2 - Marly Innovation Center – Secteur Est - Etape 1 fin 2021

Le début de cette seconde phase a été fortement impacté par la COVID-19. L'exploitation de la ligne 100 a été stoppée mi-mars et durant tout le semi-confinement. Finalement, c'est le 8 juin dernier que les deux navettes ont pu retrouver la route et une exploitation normale. Un plan de protection a été mis au point afin de protéger le personnel TPF et les clients. Le port du masque est désormais obligatoire dans les navettes et du gel hydro-alcoolique est à disposition. Les véhicules sont nettoyés et désinfectés régulièrement.

3. Développements effectués

Les développements effectués sur le thème de la téléopération menés avec Swissmoves, ROSAS et d'autres partenaires industriels se trouvent dans le sous chapitre suivant.

Les TPF ont mis à disposition une des deux navettes pour qu'un technicien de Navya puisse effectuer une formation pour l'un de leur client durant une semaine à fin août. Le technicien a profité de l'occasion pour résoudre un maximum d'avaries et bugs en tout genre qui persistaient suite à l'arrêt d'exploitation du printemps. Cette intervention a vraiment permis d'améliorer la fiabilité des navettes. Navya a ouvert sa plateforme en ligne de gestion des problèmes aux TPF. Grâce à cela, les TPF peuvent créer eux-mêmes des tickets pour signaler des avaries et bugs. Par conséquent, il est désormais plus facile de suivre la résolution de chaque élément et de connaître qui doit faire quelle action. Les délais d'intervention sont par conséquent raccourcis. Des guides d'aide à la résolution de certains bugs sont également disponibles ce qui permet là aussi de gagner du temps.

3.1. Projet Téléopération

Le projet sur la téléopération est étudié dans le cadre de l'initiative Swissmoves mais le centre ROSAS en est le principal auteur. Le centre ROSAS (RObust and SAfe Systems) de Fribourg fonctionne comme un centre de compétence dans le domaine de la sécurité fonctionnelle, de la cybersécurité, de l'ingénierie des systèmes basée sur des modèles (MBE) et de l'ingénierie de la fiabilité. Ce centre est financé par cinq entreprises industrielles et est un centre de compétence de l'institut des systèmes intelligents et sécurisés (iSiS). Cet institut fait partie de la Haute Ecole d'ingénierie et d'architecture de Fribourg (HEIA-FR). Cette école fait partie d'une institution plus grande, la HES-SO Haute école spécialisée et des arts de Suisse occidentale.

Le projet comprend 6 workpackages et l'état d'avancement de chacun d'entre eux ainsi que les prochaines étapes sont présentés ci-dessous.

3.1.1. Partenaires clés

Partenaires académiques

Trois partenaires académiques sont impliqués dans le projet :

- La HEIA-FR et ses instituts ROSAS/iSiS, SeSi et iTEC qui ont une expérience de plus de 3 ans dans l'analyse de la sûreté et de la sécurité des véhicules automatisés, dans l'adaptation du châssis d'un démonstrateur et de concept d'une nouvelle carrosserie et dans le suivi de l'expérience des TPF à Marly.
- La HEG qui élabore le concept d'acceptabilité sociale et l'étude de marché potentiel afin d'identifier les ressources nécessaires et la rentabilité économique.
- L'UNI-FR qui identifie le concept d'homologation à mettre en place pour la mise en place de solutions automatisées et téléopérées.

Partenaires industriels

Différentes entreprises constituent des partenaires importants du projet :

- TPF
- CarPostal
- CertX : spécialistes dans la certification
- CFF
- Cluster Food & Nutrition : lien avec les acteurs de l'agroalimentaire
- DTC/BFH-TI : Dynamic Test Center AG
- RUAG Schweiz

3.1.2. Activités effectuées par Workpackage

WP1 - Analyse de rentabilité et acceptabilité sociale de la téléopération pour une plateforme de mobilité en tant que service (MaaS)

Les activités effectuées jusqu'à présent sont liées à l'acceptabilité sociale. Deux objectifs ont été définis :

1. Recueillir des informations sur l'acceptabilité sociale afin de permettre leur utilisation et leur application dans le développement d'un concept de téléopération
2. Sensibiliser le public et impliquer les parties prenantes et les partenaires clés dans l'élaboration

Certains facteurs rendent possible la création d'un climat favorable au processus d'acceptabilité sociale. Le contexte socioéconomique, la culture (notamment les valeurs et les traditions), le contexte légal ou l'information disponible auront une influence sur la démarche d'acceptabilité sociale et sur son résultat (Confédération des syndicats nationaux, 2016). Ces facteurs sont présentés sur la Figure 3 :

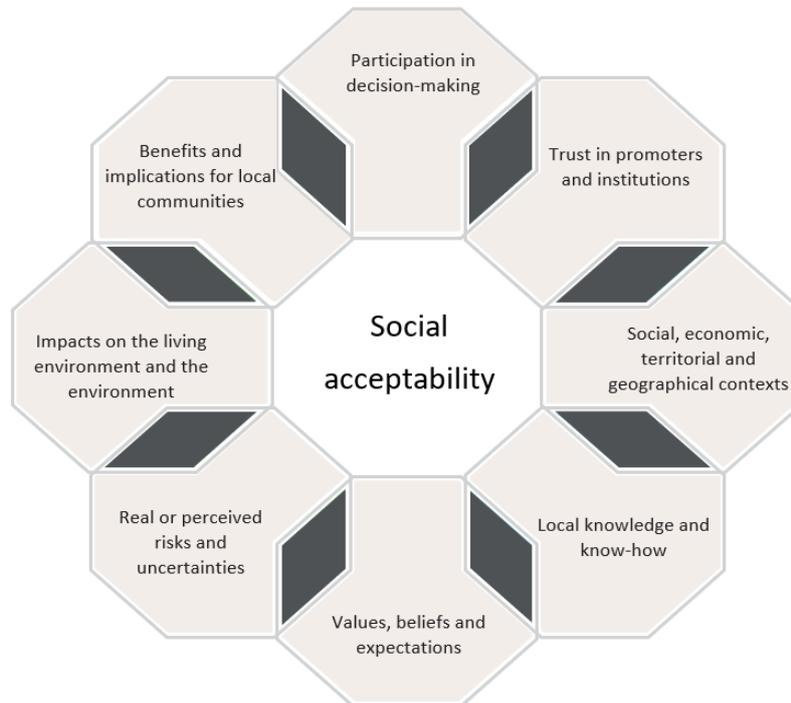


Figure 3 - Facteurs d'influence de l'acceptabilité sociale

Un focus group s'est déroulé le 10 septembre 2020 afin d'identifier la vision des partenaires sur la plus-value de la téléopération dans les navettes autonomes, ainsi que des conditions de l'acceptabilité sociale. Les institutions/entreprises suivantes étaient présentes : ROSAS, HEIA-FR, UNIFR, CertX, HEG-FR, RUAG, TPF, CarPostal et BFH.

La finalité de ce focus group a été le recueil d'inputs en matière d'acceptabilité sociale afin de permettre la transmission de ceux-ci aux ingénieurs dans le but qu'ils les utilisent et les appliquent dans le développement d'un concept de téléopération.



Figure 4 - Un focus group sur l'acceptabilité sociale s'est déroulé le 10 septembre 2020

Parties prenantes d'un concept de téléopération

Les différentes parties prenantes identifiées relatives au concept de téléopération centralisée permettant de piloter à distance des véhicules automatisés et connectés sont mises en évidence dans la Figure 5.

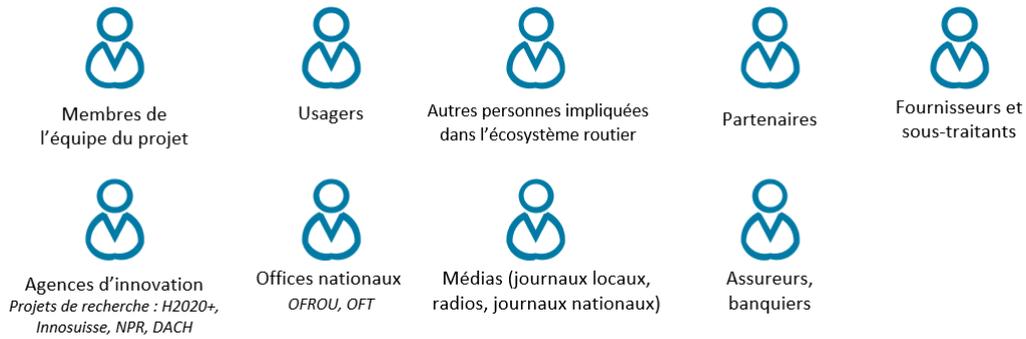


Figure 5 - Parties prenantes identifiées relatives au concept de téléopération

Les prémices d'une étude sur l'acceptabilité sociale se focaliseront sur les attentes et besoins des usagers de la route, des autres personnes impliquées dans l'écosystème routier ainsi que des partenaires.

Prochaines étapes

Les prochaines étapes en lien avec l'acceptabilité sociale et le business case sont les suivantes :

- Analyse des systèmes de téléopération existants et de leurs modèles commerciaux.
- Elaboration de questionnaires à distribuer aux utilisateurs des navettes automatisées actuelles.
- Enquêtes et/ou entretiens avec les partenaires afin d'identifier leurs besoins précis en matière d'applications commerciales, d'acceptabilité sociale et d'autres sujets pertinents.
- Analyse des ressources nécessaires et de la rentabilité économique d'une navette automatisée assistée par téléopération.
- Elaboration d'exigences en relation avec l'utilisateur et l'écosystème routier.

WP2 - Développement du système de téléopération au niveau conceptuel

Au niveau du développement d'un concept de téléopération, le groupe de travail a identifié deux niveaux d'étude :

- La première est une approche « Top-Down » qui a pour objectif d'identifier à haut niveau les différents acteurs jouant un rôle dans la téléopération (véhicule autonome, réseau, infrastructure, centre d'opération, ...). La Figure 6 montre le concept à haut niveau qui doit être développé.

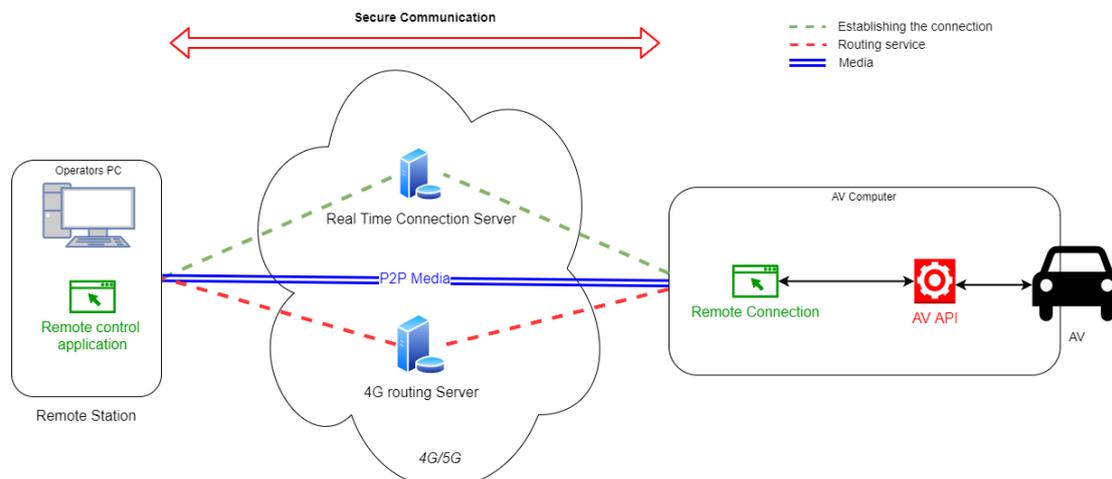


Figure 6 - Approche Top-Down

- La deuxième est une approche « Bottom-Up » qui consiste à développer les services permettant de téléopérer le démonstrateur PerceptIn de ROSAS. La Figure 7 présente les applications qui ont été mises en place ou développées afin de téléopérer le véhicule.

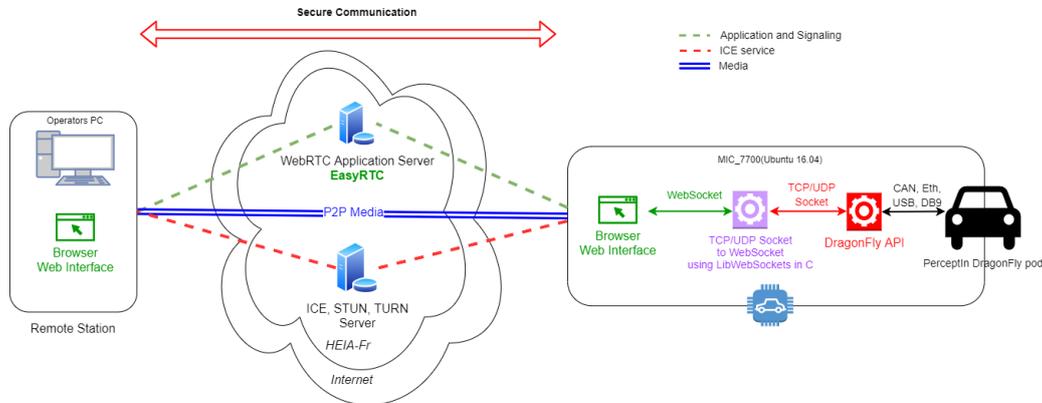


Figure 7 - Approche Bottom-Up

Après avoir développé toutes les technologies nécessaires à l'opération à distance du démonstrateur PerceptIn (Figure 8 - Démonstrateur PerceptIn- Démonstrateur PerceptInFigure 8), le groupe de travail a effectué un test sur circuit privé afin de valider le concept. Une interface a été développée du côté téléopérateur permettant de montrer en direct la vidéo des caméras du démonstrateur, les informations liées au véhicule (vitesse, freinage, phares, clignotants, ...) ainsi que les commandes à utiliser pour opérer le véhicule à distance. La Figure 9 montre la première version de l'interface visible par le téléopérateur.



Figure 8 - Démonstrateur PerceptIn

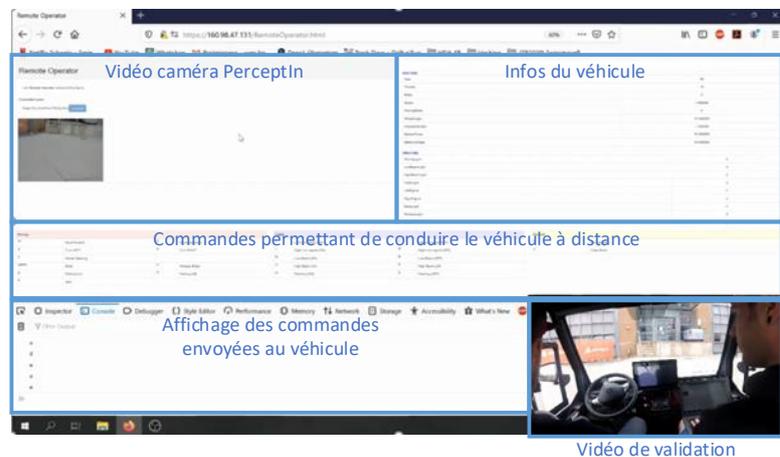


Figure 9 - Preuve du concept

Développement et validation des exigences de sûreté et de sécurité

Une autre activité de ce workpackage est de définir les exigences liées à la téléopération afin d'assurer en tout temps que le véhicule est sûr. Pour obtenir ces exigences, des analyses de risques sont effectuées suivant les standards ISO 26262 et ISO 21434. Les différentes étapes permettant d'obtenir ces exigences sont résumées ci-dessous :

1. Lister les différentes parties permettant une opération du véhicule à distance
2. Lister toutes les fonctions liées à la téléopération ainsi que les échanges (communication) entre le véhicule autonome et le centre de téléopération.
3. Effectuer les analyses de risque afin d'en extraire les exigences :
 - a. HARA (Hazard and Risk Analysis) en suivant la norme ISO 26262

b. TARA (Threat Analysis and Risk Assessment) en suivant la norme ISO 21434

Jusqu'à présent, les différentes parties permettant une téléopération du véhicule ont été définies et la liste de toutes les fonctions est en cours de création. La suite consiste à intégrer toutes les fonctions dans les analyses de risques et d'en extraire les exigences.

Lors du développement du concept de téléopération, les exigences doivent être fixées et attribuées à chaque bloc constituant l'opération à distance. Pour ce faire, l'approche MBE (Model-Based Engineering) a été choisie et le département MBE de ROSAS est actuellement en train de développer un modèle permettant d'intégrer les exigences et de valider le concept à l'aide de l'outil Cameo. La Figure 10 permet de montrer la décomposition structurelle à haut niveau, et la Figure 11 est à un niveau inférieur de modélisation et représente les intégrations entre le centre d'opération et le véhicule autonome téléopéré.

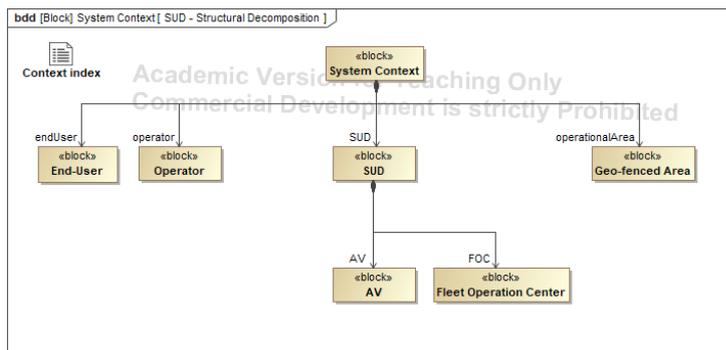


Figure 10 - MBE structural decomposition

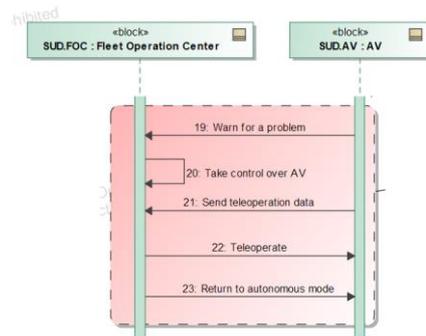


Figure 11 - Communication centre opération - VA

Prochaines étapes

Les prochaines étapes en lien avec le développement du concept de téléopération sont les suivantes :

- Effectuer les analyses de risque, sureté (HARA) et cybersécurité (TARA), afin d'extraire les exigences suivant les normes ISO 26262 et 21434.
- Au niveau modélisation, la suite consiste à développer les blocs « AV » et « Fleet Operation Center » plus en détail (niveau SW et HW) ainsi que la communication entre ces deux blocs.
- Lorsque les exigences seront toutes définies, les intégrer dans le logiciel de modélisation/simulation Cameo afin de valider le concept.
- Développer le code permettant d'interagir avec le châssis depuis le logiciel de modélisation Cameo

WP3 - Développement et intégration des fonctions de sécurité automatisées nécessaires à la téléopération avec le démonstrateur

Simulation

Avant de mettre en place un véhicule autonome sur une route, il est nécessaire de simuler son comportement afin de minimiser les risques. Pour cette partie, deux tâches importantes ont été effectuées jusqu'à présent :

- Obtention du logiciel de simulation rFpro : le logiciel disponible à ROSAS au début du projet, soit IPG CarMaker, ne permet pas d'obtenir une représentation assez précise de la route pour valider le comportement d'un VA. La Figure 12 et la Figure 13 permettent de montrer la différence entre les deux logiciels de simulation.



Figure 12 - IPG CarMaker simulation

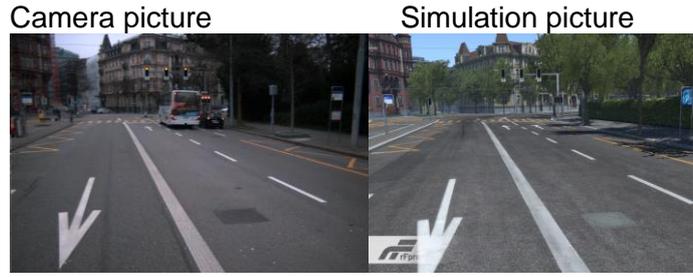


Figure 13 - rFpro Zurich Formula E simulation

- Validation de l'ODD (Operational Design Domains) : pour démontrer que notre concept de téléopération fonctionne, une route de test sur site privée a été définie sur le site du MIC (Marly Innovation Center) sous réserve de l'obtention des autorisations nécessaires.

Localisation

Pour la partie de localisation, des discussions ont eu lieu avec SwissTopo (Office fédéral de topographie) afin de d'obtenir leurs données de localisation. ROSAS a acheté leur service SwiPos qui se base sur le réseau GNSS automatique Suisse (AGNES). Les données des 30 stations AGNES, implémentées dans toute la suisse (voir Figure 14) sont à disposition pour des applications en temps réel. Ce service est actuellement en phase d'intégration sur le démonstrateur PerceptIn. Lorsque le service sera intégré, la station de base fournie par les constructeurs de véhicules automatisés pourra être supprimée.

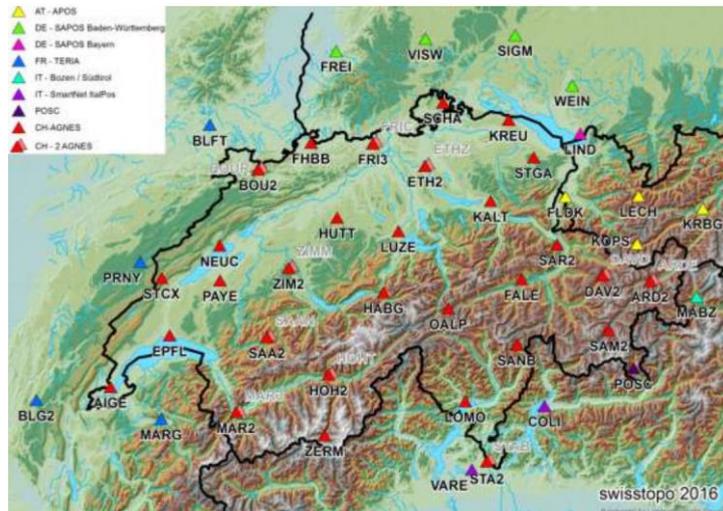


Figure 14 - Station AGNES de SwissTopo

La localisation par D-GPS n'étant pas assez précise pour assurer une circulation autonome en tout temps, il est nécessaire d'implémenter une méthode complémentaire permettant d'obtenir une précision d'environ 10 cm. Afin d'obtenir ce niveau de précision, l'équipe SwissMoves travaille sur le sujet du VSLAM (Visual Simultaneous Localization and Mapping). Le but est d'insérer des points de repère, voir Figure 15, sur des éléments fixes de l'ODD afin que le véhicule se localise de manière précise.

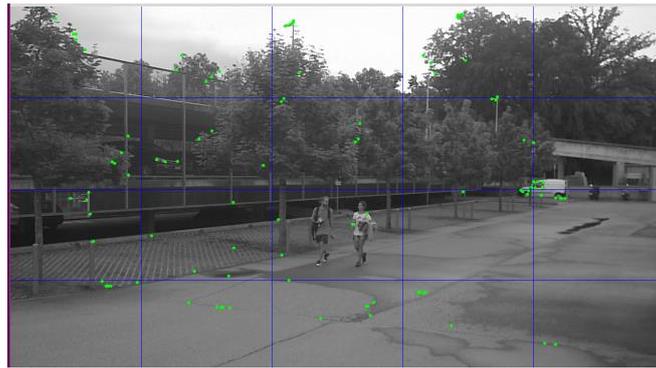


Figure 15 - VSLAM exemple

Perception

La partie de perception consiste à développer des algorithmes permettant de détecter l'environnement autour du véhicule. Plusieurs activités ont été effectuées jusqu'à présent et sont résumées ci-dessous :

- Obtention du « FLIR Auto Development Kit » permettant de détecter les voitures et piétons même en cas de mauvaises conditions météorologiques.
- Tourner différentes vidéos entre la HEIA-FR et Marly intégrant l'ODD au MIC afin d'entraîner nos algorithmes. Ces vidéos ont été tournées avec une caméra standard ainsi que la caméra infrarouge FLIR.
- Application et amélioration des algorithmes de détection de lignes sur la base des vidéos tournées.
- Tests de différents algorithmes libres d'utilisation pour la détection d'objets (intégrant les voitures et les piétons) sur la route (Vita Lab EPFL, dataset de FLIR, SCUT_FIR, ...).

Des vidéos montrant les résultats obtenus pour la détection d'objets sont à disposition. La Figure 16, Figure 17, Figure 18 montrent quelques résultats obtenus :



Figure 16 - Détection d'objets sur la caméra FLIR



Figure 17 - Détection de piétons avec algo Vita Lab



Figure 18 - Détection de lignes

Path Planning

Le Path Planning est une partie très importante pour les véhicules autonomes car elle permet de définir la route à emprunter pour atteindre la destination. Elle regroupe les données de localisation et de perception afin d'identifier avec précision le chemin à prendre. C'est également la partie permettant de faire l'interface avec les actionneurs (freins, direction, moteur, ...) du véhicule. Les différentes activités réalisées jusqu'à présent sont résumées ci-dessous :

- Formation proposée par AutoWare suivie (Open Source)
- Echange avec l'entreprise Embotech, active dans ce domaine. Des documentations expliquant les différentes parties du Path Planning nous ont été fournies.
- Définition d'un premier concept simple visant à développer le Path Planning pour un ODD défini au préalable.

Un premier projet a été défini pour le Path Planning et consiste à faire un premier cas d'utilisation sur une route prédéfinie au MIC.

Prochaines étapes

Les prochaines étapes en lien avec le développement de la simulation, de la localisation, de la perception et du Path Planning sont les suivantes :

- Simulation d'un scénario avec rFpro établi lors d'un précédent projet afin de comparer les résultats avec la simulation IPG CarMaker
- Document de planification des tests sur l'ODD MIC
- Intégration de la carte HD de l'ODD dans le logiciel de simulation rFpro
- Intégration de la localisation D-GPS fourni par SwissTopo sur le démonstrateur PerceptIn
- Amélioration de la localisation par VSLAM
- Amélioration de la perception (détection d'objets et de personnes) afin d'obtenir une version stable et implémentable sur le démonstrateur pour l'ODD du MIC.
- Développement du concept de Path Planning défini afin d'obtenir une première version implémentable sur le démonstrateur

WP4 - Réglage et configuration du châssis et de la carrosserie

Les experts mécaniques de l'institut SeSi de la HEIA-FR ont réalisé qu'il n'est pas envisageable de modifier le châssis existant du démonstrateur PerceptIn pour une homologation niveau L6 ou L7. Le Tableau 1 détaille les critères que doivent respecter les châssis pour une homologation de catégorie L6 ou L7 :

Tableau 1 - Critères catégories châssis

Category	Category name	Common classification criteria
L6e	Light quadricycle	<ul style="list-style-type: none"> • Four wheels and powered by a propulsion as listed under Article 4(3); • Maximum design vehicle speed ≤ 45 km/h; • The mass in running order ≤ 425 kg; • Engine capacity ≤ 50 cm³ if a PI engine or engine capacity ≤ 500 cm³ if a CI engine forms part of the vehicle's propulsion configuration; • Equipped with a maximum of two seating positions, including the seating position for the driver
L7e	Heavy quadricycle	<ul style="list-style-type: none"> • Four wheels and powered by a propulsion as listed under Article 4(3); • Mass in running order: <ul style="list-style-type: none"> ○ ≤ 450 kg for transport of passengers; ○ ≤ 600 kg for transport of goods. • L7e vehicle that cannot be classified as a L6e vehicle.

Afin de construire un futur prototype permettant de répondre aux exigences d'homologation pour la catégorie L7, l'équipe de projet étudie différentes offres afin d'obtenir un nouveau châssis respectant les critères de la catégorie L7e Heavy quadricycle. D'autre part, un collaborateur de l'institut SeSi réalise actuellement des analyses assistées par ordinateur (IAE ou CAE en anglais) afin d'obtenir les exigences de robustesse et de performances pour une homologation future. Les prochaines étapes consistent à effectuer les travaux d'ingénieries nécessaires afin d'effectuer une démonstration avec ce nouveau châssis, sous réserve d'obtention des autorisations par l'OFROU.

WP5 - Vérification et validation

La validation et la vérification du concept de téléopération développé sera effectué en fin de projet. Pour ce faire, deux méthodes ont été identifiées :

1. Validation du concept de téléopération au moyen de simulation suivant l'approche MBE. Toutes les exigences définies au préalable seront intégrées dans le logiciel de modélisation Cameo afin de vérifier que le concept respecte les standards ISO 26262 et ISO 21434.
2. Vérification du concept par le biais de tests réels sur un ODD prédéfini

WP6 - Autorisation de l'ensemble du système, y compris le centre de téléopération et le véhicule

Une fois l'ensemble du concept finalisé, l'équipe de projet effectuera une demande groupée pour l'autorisation de l'utilisation de la téléopération sur un véhicule autonome. Les différentes étapes définies jusqu'à présent sont listées ci-dessous et présentées sur la Figure 19.

- Concept : Concept présentant les technologies utilisées et implémentées afin d'opérer le véhicule à distance
- ODD : Description détaillée du parcours que le véhicule empruntera
- Hazard And Risk Analysis: Analyse de risques permettant d'identifier les exigences à respecter pour une opération sûre du véhicule
- Requirement Validation by MBE: Validation du respect des exigences par le concept mis en place à l'aide d'outils de modélisation/simulation
- Authorization request: Demande d'autorisation à l'OFROU afin d'utiliser l'opération à distance d'un véhicule

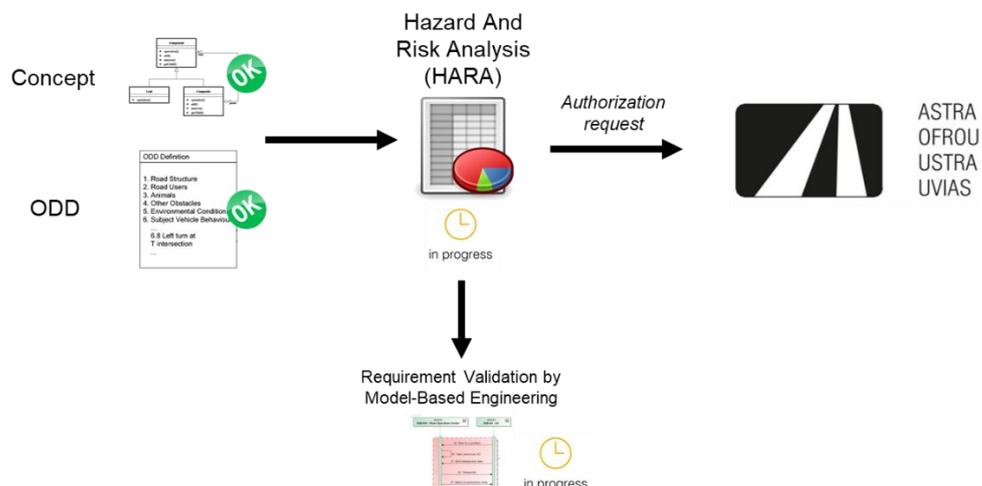


Figure 19 - Processus d'obtention d'autorisation

Une réunion avec l'OFROU sera organisée lorsque le concept de téléopération sera validé.

4. Résultats

Les résultats d'expériences obtenus entre les mois d'avril et septembre 2020 sont divisés en trois parties. Tout d'abord, les données statistiques sont présentées puis un point de situation de l'exploitation est effectué. Finalement, une appréciation générale du point de vue de l'exploitant est exposée.

4.1. Données

4.1.1. Kilomètres

Tableau 2 - Kilomètres par mois par véhicule

Mois	Navette rouge	Navette verte	Kangoo	Total
Avril				
Mai				
Juin	445	437	138	1'020 km
Juillet	400	631	286	1'317 km
Août	421	346	481	1'248 km
Septembre	192	133	743	1'068 km
Total	1'458 km	1'547 km	1'648 km	4'653 km

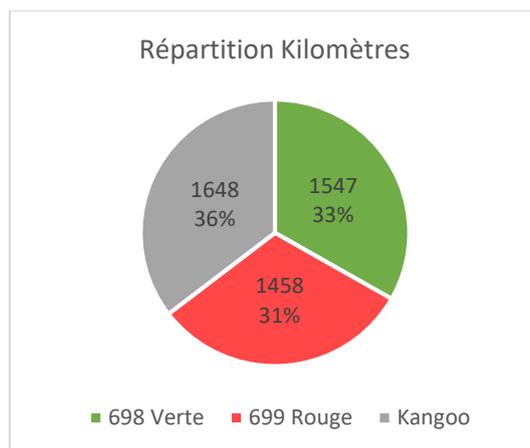


Figure 20 - Kilomètres totaux par véhicule

Constat

La reprise du mois de juin s'est bien déroulée avec plus de 400 kilomètres effectués par chaque navette. La navette verte a même atteint un pic de kilomètres en juillet. En août, le chantier a commencé à avoir de forts impacts sur les navettes avec une diminution des kilomètres des navettes et une augmentation de ceux du Kangoo. Cette tendance s'est poursuivie en septembre avec un impact plus conséquent sur le nombre de kilomètres effectués en navettes.

Comparaison avec phase 1

Tableau 3 - Moyenne mensuelle des kilomètres par phase

Phase	Navette rouge	Navette verte	Kangoo
Phase 1	607 km	493 km	521 km
Phase 2 (avril-sept.)	365 km	387 km	412 km

Pour rappel, la phase 1 s'est déroulée de septembre 2017 à mars 2020. Il peut être constaté une baisse générale des kilomètres qui s'explique principalement par une diminution du nombre de kilomètres effectués depuis décembre 2019. En effet, les cadences ont été réajustées et les tours de service adaptés en conséquence.

4.1.2. Passagers

Tableau 4 - Nombre de passagers par mois par véhicule

Mois	Navette rouge	Navette verte	Kangoo	Total
Avril				
Mai				
Juin	110	75	36	221
Juillet	77	166	59	302
Août	93	76	83	252
Septembre	51	45	191	287
Total	331	362	369	1'062

Constat

Suite à la reprise d'exploitation après le semi-confinement, les fréquentations ont presque retrouvé leur niveau de 2019. Le nombre de passagers par type de véhicule ne reflète pas complètement son utilisation. Par exemple, le premier aller-retour est effectué en Kangoo dans le but de vérifier que tout est en ordre sur le parcours. Sur cette première course, il y a toujours entre 2 et 3 fidèles clients. Un ratio entre les passagers et les kilomètres effectués en moyenne par jour est de ce fait plus intéressant.

Tableau 5 - Nombre de passagers par kilomètre effectué

Mois	Navette rouge	Navette verte	Kangoo	Moyenne
Avril				
Mai				
Juin	0.73	0.17	0.26	0.39
Juillet	0.19	0.26	0.21	0.22
Août	0.22	0.22	0.05	0.16
Septembre	0.27	0.34	0.27	0.29
Moyenne	0.35	0.25	0.20	

Les navettes transportent plus de passagers au kilomètre en moyenne par jour que le Kangoo, ce que les tableaux des passagers et des kilomètres ne montraient pas directement. Il est intéressant de noter qu'en juin les deux navettes ont fait un nombre de kilomètres assez similaire mais la navette rouge a transporté beaucoup plus de passagers. Il peut être supposé que la navette rouge a roulé principalement durant les heures de pointe. Cela démontre qu'il n'est pas pertinent de faire des comparaisons avec la fiabilité de chaque véhicule à partir des données de comptages des passagers.

Comparaison avec phase 1

Tableau 6 - Moyenne des passagers mensuelle par phase

Phase	Navette rouge	Navette verte	Kangoo
Phase 1	156	144	89
Phase 2 (avril-sept.)	83	91	92

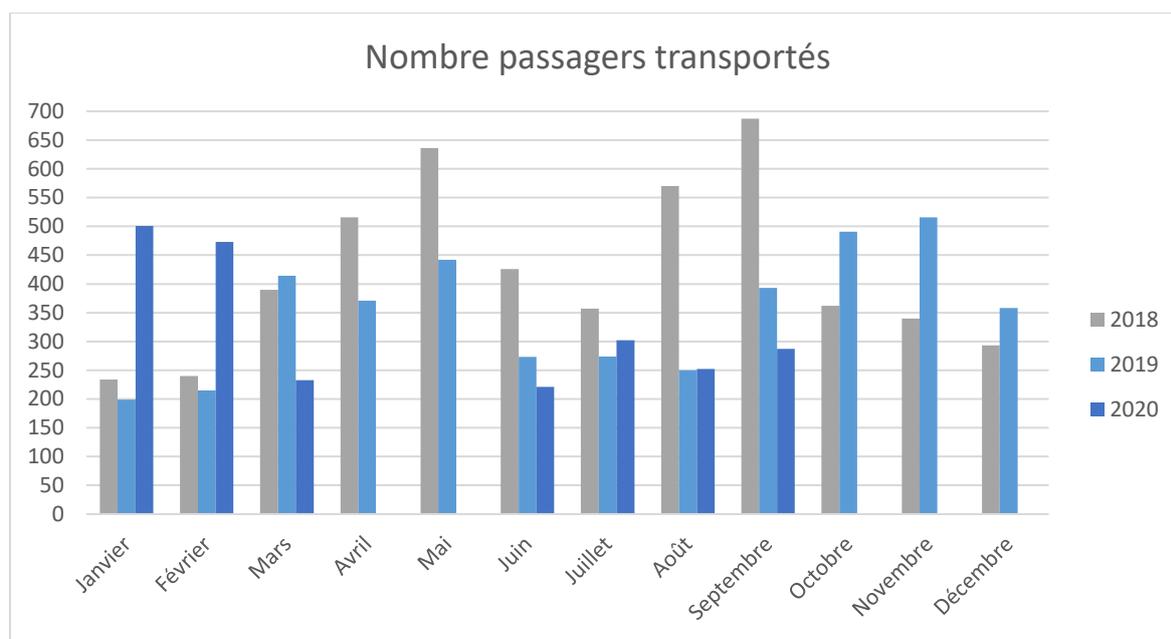


Figure 21 - Nombre passagers 2018-2019-2020

En 2018, beaucoup de passagers ont emprunté la ligne 100 par curiosité. Ensuite, l'année 2019 a connu une baisse des fréquentations car la clientèle est essentiellement les pendulaires du Marly Innovation Center. Durant les premiers mois de l'année 2020, une forte progression était observée mais elle a malheureusement été stoppée nette par le semi-confinement et l'arrêt d'exploitation des navettes début mars.

4.1.3. Conduite manuelle et automatique

Tableau 7 - Moyenne mensuelle conduite en manuel par véhicule

Mois	Navette rouge	Navette verte	Moyenne
Avril			
Mai			
Juin	30.7 %	26.7 %	28.7 %
Juillet	22.0 %	25.2 %	23.6 %
Août	26.9 %	35.1 %	31.0 %
Septembre	37.0 %	33.2 %	35.1 %
Moyenne	29.1 %	30.1 %	29.6 %

Constat

Lors de la reprise en juin, la navette rouge avait quelques soucis mécaniques et c'est pourquoi elle a plus été conduite manuellement que sa collègue verte. Au mois de juillet, après différentes réparations, le taux de conduite en manuel est redescendu pour atteindre des chiffres raisonnables. L'arrivée de nouveaux travaux sur le site en août explique l'augmentation des chiffres pour les deux derniers mois du semestre. A noter que ces pourcentages sont passablement discutables car ils sont très influencés par le nombre de kilomètres effectués. Par exemple, si peu de kilomètres sont faits, la proportion de manœuvres standards à effectuer en manuel sera très élevée.

Comparaison avec phase 1

Tableau 8 - Moyenne mensuelle par phase

Phase	Navette rouge	Navette verte
Phase 1	45.0 %	44.4 %
Phase 2 (avril-sept.)	29.1 %	30.1 %

Cette comparaison entre la phase 1 et 2 permet de montrer clairement les progrès effectués en terme d'automatisation du parcours. La conduite en mode manuel a donc diminué d'environ un tiers. La mise en automatique du tronçon de la forêt sur la Route de l'Ancienne Papeterie avait permis d'améliorer significativement la situation en 2019.

4.1.4. Vitesse moyenne

Tableau 9 - Vitesse moyenne mensuelle par navette

Mois	Navette rouge	Navette verte	Moyenne
Avril			
Mai			
Juin	7.5 km/h	7.5 km/h	7.5 km/h
Juillet	7.5 km/h	7.4 km/h	7.5 km/h
Août	7.3 km/h	7.0 km/h	7.2 km/h
Septembre	7.3 km/h	7.6 km/h	7.5 km/h
Moyenne	7.4 km/h	7.4 km/h	7.4 km/h

Constat

En septembre, la vitesse moyenne de la navette verte est un peu plus élevée car elle a été plus conduite en mode manuel. Les grooms ont tendance à rouler plus vite en manuel que la vitesse automatique programmée. Hormis cette petite différence, les vitesses moyennes des deux véhicules sont très stables. Un résultat identique entre les deux navettes permet de s'assurer que la programmation est similaire sur chacun des véhicules.

Comparaison avec phase 1

Tableau 10 - Vitesse moyenne mensuelle par phase

Phase	Navette rouge	Navette verte
Phase 1	8.4 km/h	8.2 km/h
Phase 2 (avril-sept.)	7.4 km/h	7.4 km/h

La différence des vitesses moyennes entre la phase 1 et 2 est aussi flagrante que pour les pourcentages de conduite en mode manuel. Le lien est avéré entre les deux puisqu'une navette conduite en mode manuel roule plus vite qu'en automatique.

4.2. Exploitation

Les problèmes techniques et d'environnement impactant l'exploitation sont expliqués dans les paragraphes suivants.

4.2.1. Facteurs externes

L'exploitation de la ligne 100 est parfois perturbée par des facteurs très divers et souvent difficilement prévisibles.

Après le semi-confinement, les TPF ont été confrontés à un manque de personnel formé permettant de couvrir tous les tours de service planifiés suite à des absences imprévisibles. Dans ce type de situation, les horaires de travail sont réorganisés pour qu'une personne soit présente à tout moment de la journée. Cela a pour conséquence, qu'une seule personne ne peut assurer la cadence 15 minutes aux heures de pointe et donc, dans cette situation, le Kangoo est utilisé afin d'assurer toutes les courses à l'heure et ne pas péjorer les clients. De juin à septembre, cette situation s'est produite 19 fois. Pour y remédier, une personne supplémentaire a été engagée et formée courant septembre. La situation devrait donc se stabiliser dès octobre.

Comme facteur extérieur et indépendant des navettes, il y a toujours de nombreux camions qui franchissent l'interdiction de circuler sur la Route de l'Ancienne Papeterie. Avec le chantier et les livraisons en lien avec les travaux en augmentation, la situation n'est toujours pas satisfaisante

malgré les communications mises en place. Le chantier à l'entrée du site ne permet plus du tout aux poids lourds de passer ce qui obligent les chauffeurs à faire une longue marche-arrière parfois périlleuse. Les navettes restent donc bloquées durant plusieurs dizaines de minutes durant les manœuvres des poids lourds.



Figure 22 - Véhicules sur la Route de l'Ancienne Papeterie

Autres éléments connus, l'environnement et la météo influencent toujours l'exploitation des navettes. Après l'interruption suite à la COVID, le parcours a été remis en état grâce aux techniciens du MIC et de la Commune de Marly. En effet, les haies et arbres ont été taillés permettant ainsi aux navettes de reprendre plus sereinement du service. Cet entretien a permis d'éviter des soucis entre juin et septembre. Concernant les conditions météorologiques, l'été a été clément et seuls deux épisodes de pluies ont contraint les grooms à ranger les navettes et à utiliser le Kangoo de substitution.



Figure 23 - Végétation encombrante sous la pluie

La source de perturbations la plus importante et impactante est les différents travaux à proximité directe du parcours des navettes. Tout d'abord, sur le haut du parcours, suite aux travaux effectués l'année dernière, le revêtement bitumineux définitif a été posé dans le carrefour des Epinettes. Les travaux préparatoires ont perturbé l'exploitation durant 3 jours puis une interruption totale de la circulation du 24 au 26 août a obligé les TPF à mettre en place une déviation. Le Kango reliait le site du MIC à l'arrêt Marly, Cité mais via le giratoire de Jonction. Tandis que les navettes desservaient le site à l'interne et s'arrêtait juste avant le carrefour des Epinettes pour permettre aux habitants d'avoir une desserte depuis le MIC.

Sur le site du Marly Innovation Center, la construction des premiers immeubles d'habitation implique de nombreux travaux pour la pose de nouvelles canalisations, du chauffage à distance et de divers services. D'importantes fouilles sont en cours sur l'entier du site. La zone autour de l'Arrêt Labos a été la première touchée. Ensuite, les fouilles se sont étendues entre l'arrêt Labos

et Admin. La présence des machines de chantier n'est pas évidente et demande aux grooms d'avoir beaucoup de flexibilité. Les navettes doivent souvent être reprises en mode manuel. La pose d'une plaque métallique sur une fouille a contraint les grooms à utiliser le Kangoo durant plusieurs jours en septembre. En effet, la plaque n'était pas posée de façon optimale sur le bord de la fouille et au vu du poids des navettes, la solution du Kangoo a été privilégiée afin de ne prendre aucun risque et garantir la sécurité de tous.



Figure 24 - Chantier Epinettes



Figure 25 - Chantier entre Arrêts Admin et Labos



Figure 26 - Travaux à l'arrêt Admin



En comparaison avec la phase 1 de l'expérimentation, les facteurs externes sont similaires dans l'ensemble. Il n'y a donc pas de surprises dans cette nouvelle phase. Les problèmes sont les mêmes mais leurs occurrences sont très variables en fonction des périodes et de ce fait particulièrement imprévisibles.

4.2.2. Problèmes techniques

Tableau 11 - Problèmes techniques

Problème	Impacts	Mesures / Solutions
Lidars	Messages erreurs et arrêts	Changement de la pièce
Calibration lidar	Messages erreurs et arrêts	Nouvelle calibration
Fusibles compresseurs	Suspensions bloquées	Changement de la pièce
Instabilité 3G	Arrêts brusques	Redémarrage Base GNSS
Surchauffe ordinateurs	Arrêts	Laisser refroidir

Lidars et calibration

Avant le confinement, un lidar de la navette rouge était défectueux et a été remplacé le 24 juin par des mécaniciens TPF.

Depuis la reprise en juin, les grooms ont constaté que l'un des lidars de la navette verte émettait un bruit anormal. Les jours suivants, des messages d'erreur concernant un problème de lidar s'affichaient et provoquaient parfois des arrêts inopinés. Il a finalement été changé lors de l'intervention de Navya sur site le 22 juillet. Les erreurs ont toutefois persisté car la nouvelle calibration des lidars n'était pas assez précise. Une nouvelle calibration de tous les lidars a donc dû être effectuée lors d'une intervention de Navya en août. Pour calibrer les lidars, la navette doit être positionnée à plat près d'un mur sans vitrage. A cause des travaux sur le site du MIC, il n'était plus si évident de trouver un endroit idéal pour la calibration des lidars.

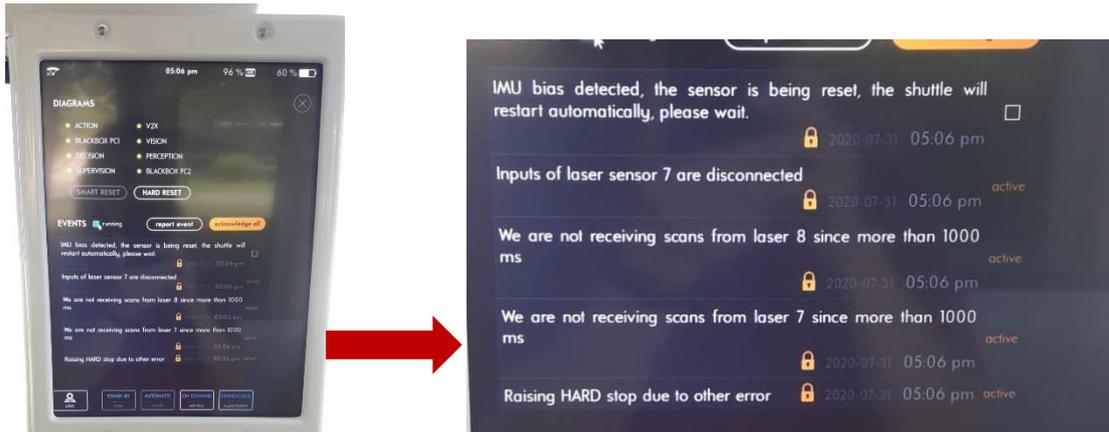


Figure 27 - Erreurs Lidars

Fusibles compresseurs

Les navettes ont à nouveau eu des problèmes avec les compresseurs de suspensions mais cette fois, les fusibles ont été identifiés comme la cause du souci. En effet, un dysfonctionnement empêchait les compresseurs de fonctionner normalement. Ils ont donc été remplacé par les techniciens Navya en août sur les navettes verte et rouge.

Instabilité 3G

Durant l'été, la navette rouge captait de manière instable le réseau 3G. La perte du réseau 3G entraîne des arrêts inopinés lorsque simultanément le ratio de cohérence entre la carte virtuelle et la vision réelle des lidars et le signal 3G sont perdus. Etrangement, ce n'était pas le cas pour la navette verte durant les mêmes périodes. Le réseau de téléphonie mobile paraissait relativement lent. C'est pourquoi, l'antenne de base a été redémarrée et finalement la situation s'est améliorée.

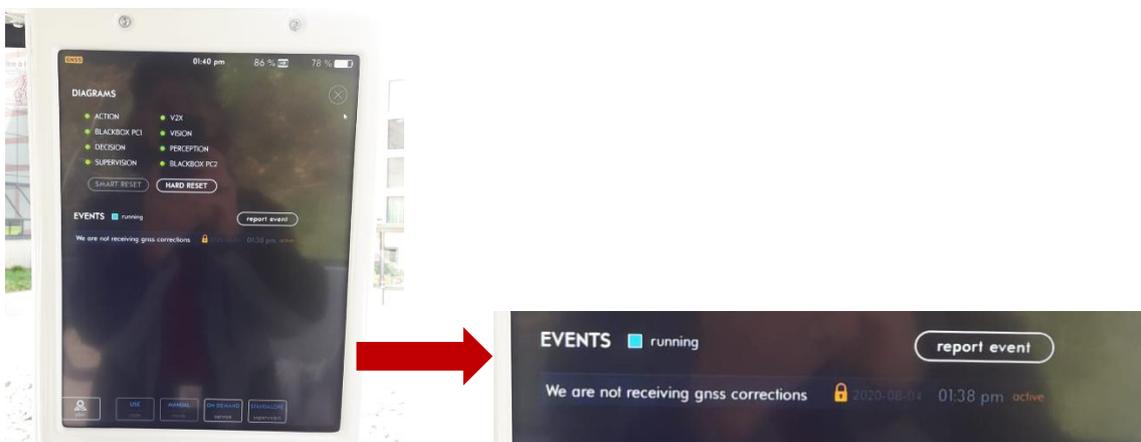


Figure 28 - Perte de localisation

Surchauffe des ordinateurs

Durant la semaine du 27 au 31 juillet, les températures extérieures ont aisément dépassé les 30 degrés. Ce phénomène a entraîné des arrêts des deux navettes. Il était ensuite impossible de les déplacer manuellement. Pour remédier à ce problème, il fallait les éteindre complètement et attendre quelques minutes avant de les redémarrer. Au début, il a été supposé qu'il s'agissait d'une surchauffe du moteur mais aucun témoin lumineux ne s'était allumé. En fait, il s'agissait d'une surchauffe des ordinateurs. Malgré la présence de ventilateurs, les chaleurs extrêmes ne conviennent pas aux composants informatiques.

Par rapport aux difficultés techniques rencontrées durant la première phase, il peut être constaté qu'une majorité des défaillances ont déjà eu lieu par le passé. Les parties mécaniques liées aux suspensions ainsi les lidars sont des éléments particulièrement sollicités et plus fragiles.

4.3. Appréciation générale de l'exploitant

Tout comme à l'échelle mondiale, la situation sanitaire a perturbé l'exploitation des navettes et tout le système de transport public. Pour permettre la reprise de la circulation des navettes, un plan de protection a été mis en place comprenant le port du masque obligatoire. Heureusement, le redémarrage du service s'est bien déroulé et autant les grooms que les clients ont bien accueilli les mesures prises. En début d'année 2020, une belle progression du nombre de passagers a été observée mais a malheureusement été stoppée nette à l'arrivée du semi-confinement. Les clients reviennent gentiment depuis juin mais les chiffres n'atteignent pas encore les prévisions. La tendance est la même dans tous les transports publics de manière générale.

La coordination avec les différents intervenants s'occupant des travaux sur le site du MIC se déroule majoritairement bien. Chacun tente de prendre en considération les contraintes des autres mais il est clair qu'il est impossible de satisfaire tout le monde. Un soin particulier est accordé pour restreindre au minimum les impacts sur la circulation des navettes. Les grooms doivent donc gérer tous les jours des situations différentes et jongler avec l'utilisation des navettes et du véhicule de substitution lorsque les conditions ne sont pas réunies pour une exploitation sûre en navette. La flexibilité du personnel des navettes permet de garantir les courses inscrites à l'horaire. Cette souplesse est primordiale car les travaux sur le MIC ne sont de loin pas terminés. Les réparations effectuées durant les mois de juillet et août ont permis de retrouver une fiabilité satisfaisante au niveau des parties mécaniques et du logiciel.

5. Développements futurs

Les navettes vont poursuivre leur exploitation sur la ligne 100. Navya va intervenir en décembre pour différents contrôles techniques en vue des expertises annuelles des deux navettes à mi-décembre.

Le sous-projet « Téléopération » va continuer à être étudié et développé par la HEIA-FR. L'objectif est de pouvoir concrétiser des essais de véhicules/plateformes téléopérés à distance comme expliqué dans le chapitre 3.1 Projet Téléopération. En parallèle, le développement de Swissmoves se poursuit également avec de nouveaux projets en cours de réflexions. Des liens se sont également créés entre différentes entreprises de transport public suisses avec pour but d'échanger sur les expériences de chacun et de se mettre ensemble pour développer et promouvoir de nouveaux projets dans le monde la mobilité automatisée du futur.

Concernant, le lien entre les navettes automatisées et SmartRail 4.0, de premières discussions ont eu lieu à l'interne des TPF. Pour l'instant, la pandémie ralentit le projet mais l'objectif demeure de pouvoir mettre en commun les points similaires du monde routier et ferroviaire.

Les TPF ont également lancé les discussions avec les différents partenaires du projet afin de définir les volontés de chacun une fois l'expérimentation de Marly terminée à l'horizon 2022.

6. Conclusion

Cette nouvelle phase a été très particulière puisqu'elle a démarré en plein semi-confinement suite à la pandémie du Covid-19. Les navettes n'ont pas bougé durant les deux premiers mois de cette phase et ce n'est finalement que le 8 juin qu'elles ont pu reprendre la route. Heureusement, le redémarrage s'est bien déroulé grâce à l'expérience acquise par les grooms durant la première phase. Cette nouvelle expérimentation permet ainsi de mettre à profit les connaissances des deux années précédentes. Les résultats statistiques démontrent que la reprise après l'arrêt d'exploitation n'est pas évidente notamment en termes de nombre de passagers transportés. Il est nécessaire d'attendre encore quelques mois avant de tirer des conclusions. Malheureusement, la pandémie n'est pas totalement maîtrisée et ses impacts vont encore se faire ressentir durant longtemps. Malgré tout, les comparaisons effectuées avec les statistiques de la phase 1 sont intéressantes. En effet, il est encourageant de constater une vraie amélioration concernant la diminution de la conduite en mode manuel. Au niveau de l'exploitation quotidienne, les problèmes rencontrés sont clairement les mêmes que durant la première phase et les grooms savent donc les gérer correctement. Cependant, les travaux importants en cours sur le site du MIC ajoutent leur lot d'imprévus. Heureusement, tous les partenaires se montrent flexibles et ont eu une bonne collaboration qui nécessite d'être soulignée. En parallèle à l'exploitation sur le terrain, les premiers résultats du projet Téléopération sont prometteurs et très intéressants. La multidisciplinarité apporte des visions enrichissantes ainsi que de nouvelles perspectives de réflexions. Tous les partenaires sont donc prêts pour les six prochains mois d'expérimentation et pour la saison hivernale.

7. Tables des figures

Figure 1 - Partenaires Swissmoves	2
Figure 2 - Marly Innovation Center – Secteur Est - Etape 1 fin 2021.....	3
Figure 3 - Facteurs d'influence de l'acceptabilité sociale.....	5
Figure 4 - Un focus group sur l'acceptabilité sociale s'est déroulé le 10 septembre 2020	5
Figure 5 - Parties prenantes identifiées relatives au concept de téléopération	6
Figure 6 - Approche Top-Down.....	6
Figure 7 - Approche Bottom-Up	7
Figure 8 - Démonstrateur PerceptIn.....	7
Figure 9 - Preuve du concept.....	7
Figure 10 - MBE structural decomposition	8
Figure 11 - Communication centre opération - VA	8
Figure 12 - IPG CarMaker simulation.....	9
Figure 13 - rFpro Zurich Formula E simulation.....	9
Figure 14 - Station AGNES de SwissTopo.....	9
Figure 15 - VSLAM exemple.....	10
Figure 16 - Détection d'objets sur la caméra FLIR	10
Figure 17 - Détection de piétons avec algo Vita Lab	10
Figure 18 - Détection de lignes	10
Figure 19 - Processus d'obtention d'autorisation.....	12
Figure 20 - Kilomètres totaux par véhicule.....	13
Figure 21 - Nombre passagers 2018-2019-2020	15
Figure 22 - Véhicules sur la Route de l'Ancienne Papeterie.....	17
Figure 23 - Végétation encombrante sous la pluie	17
Figure 24 - Chantier Epinettes	18
Figure 25 - Chantier entre Arrêts Admin et Labos	18
Figure 26 - Travaux à l'arrêt Admin.....	18
Figure 27 - Erreurs Lidars	19
Figure 28 - Perte de localisation	19
Tableau 1 - Critères catégories châssis.....	11
Tableau 3 - Kilomètres par mois par véhicule	13
Tableau 4 - Moyenne mensuelle des kilomètres par phase	13
Tableau 5 - Nombre de passagers par mois par véhicule	14
Tableau 6 - Nombre de passagers par kilomètre effectué.....	14
Tableau 7 - Moyenne des passagers mensuelle par phase	14
Tableau 8 - Moyenne mensuelle conduite en manuel par véhicule	15
Tableau 9 - Moyenne mensuelle par phase	15
Tableau 10 - Vitesse moyenne mensuelle par navette.....	16
Tableau 11 - Vitesse moyenne mensuelle par phase	16
Tableau 12 - Problèmes techniques	18