

Navettes automatisées TPF à Marly

Phase 2 : Rapport intermédiaire N°2



Source : TPF | Jo Bersier

Version définitive

Avril 2021

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



ETAT DE FRIBOURG
STAAT FREIBURG



MARLY INNOVATION CENTER

1. Table des matières

1.	TABLE DES MATIERES.....	2
2.	INTRODUCTION	3
3.	CONTEXTE	3
4.	DEVELOPPEMENTS EFFECTUES	4
4.1.	Projet Téléopération	4
4.1.1.	Activités par Workpackages	4
5.	RESULTATS	8
5.1.	Données.....	8
5.1.1.	Kilomètres	8
5.1.2.	Passagers	9
5.1.3.	Conduite manuelle et automatique	11
5.1.4.	Vitesse moyenne	12
5.2.	Exploitation.....	12
5.2.1.	Facteurs externes.....	12
5.2.2.	Problèmes techniques	14
5.3.	Appréciation générale de l'exploitant	17
6.	DEVELOPPEMENTS FUTURS	18
7.	CONCLUSION	18
8.	TABLES DES FIGURES.....	19

2. 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 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 par les différents résultats constatés. Finalement, la suite du projet et les développements futurs sont évoqués.

Ce rapport concerne la période du 1^{er} octobre 2020 au 31 mars 2021 soit le deuxième semestre de la phase 2 du projet.

3. Contexte

Le contexte de la deuxième phase d'expérimentation de la ligne 100 est expliqué plus précisément dans le rapport précédent. Pour rappel et à des fins de compréhension du présent rapport, 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 durant les heures de pointe du matin et du soir.

Le site du Marly Innovation Center (MIC) est en plein développement. En effet, la première grande étape du développement du site a démarré avec la construction de plusieurs immeubles d'habitations dont les 100 premiers appartements accueilleront des habitants dès décembre 2021.



Figure 1 - Marly Innovation Center – Chantier Ecoquartier 2021

Depuis une année, l'exploitation de la ligne 100 est impactée par la COVID-19. 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.

4. Développements effectués

4.1. Projet Téléopération

Pour rappel, 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 est intégré à 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 est présenté ci-après. Le projet touche bientôt à sa fin et les résultats définitifs seront présentés lors du prochain rapport.

4.1.1. Activités par Workpackages

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

Les navettes autonomes ne peuvent pas fonctionner sans la surveillance d'une personne physique faute de réglementation. C'est pourquoi les opérateurs des navettes doivent continuer à avoir un chauffeur appelé groom qui supervise la conduite de la navette, malgré son caractère autonome. Ainsi, 60% du coût opérationnel des navettes autonomes provient de l'obligation d'avoir un groom, alors que la mise en place de navettes autonomes nécessite déjà des investissements initiaux importants. Suite à ce constat, l'idée de faire fonctionner plusieurs navettes automatisées à distance par un seul conducteur semble être une solution prometteuse.

Actuellement, plusieurs entreprises établies développent des systèmes de téléopération, telles que Waymo (Google), Cruise (General Motors), Nu-tonomy, Zoox, Drive.ai, Uber et Nissan. Des start-up font également leur entrée sur le marché, comme Designated Driver aux États-Unis ou Ottopia à San Francisco et Tel Aviv, ainsi que Voysys ou Phantom Auto. Cependant, dans ce domaine encore émergent, peu d'informations sont disponibles sur les stratégies adoptées, les retours sur investissement perçus ou les risques.

À partir des informations disponibles auprès des partenaires (TPF, CFF et CarPostal), il a été possible de collecter des données sur les coûts actuels des navettes automatisées. Par ailleurs, une revue de la littérature a été réalisée au moyen d'un benchmarking des prestataires de téléopération. Afin d'analyser les conséquences économiques de la téléopération, certaines hypothèses ont dû être émises dont le nombre de véhicules qu'un ou plusieurs téléopérateurs peut gérer à distance, c'est-à-dire le ratio idéal de téléopérateurs X pour X navettes automatisées. Afin de répondre à cette question, les canaux suivants ont été privilégiés :

- Revue de la littérature
- Collaboration avec des ingénieurs
- Hypothèses basées sur des calculs mathématiques et des recherches

Cependant, il a été constaté que les données empiriques faisaient défaut, en particulier la connaissance des itinéraires empruntés par les navettes (plus précisément leur domaine de conception opérationnelle « ODD ») et leur complexité connexe. En conséquence, il a été convenu de commencer avec un ratio de 1 téléopérateur pour 2 navettes. En effet, ce ratio est

actuellement le plus couramment utilisé par les fournisseurs de téléopération et les parties prenantes.

Concernant l'analyse économique, différents moyens ont été utilisés pour produire un outil au format Excel visant à mettre en évidence la viabilité économique de la téléopération. L'outil a été conçu pour être pratique et ciblé pour les partenaires du projet afin qu'ils puissent l'utiliser à la fin du projet pour vérifier si l'intégration de la téléopération sur leur navette automatisée serait économiquement avantageuse. Certaines données varient selon chaque partenaire, par exemple le prix d'acquisition de la navette, le nombre d'heures effectuées par les grooms, et le nombre de navettes acquises. Par conséquent, l'outil fournit des champs à remplir en fonction des données spécifiques de chaque partenaire. Les données de base utilisées pour les calculs sont basées sur les coûts moyens des navettes CFF, PostAuto et TPF.

WP2 - Développement du système de téléopération au niveau conceptuel

Dans ce workpackage, la sécurité fonctionnelle a été analysée et des analyses sur les risques, la sûreté et la cybersécurité ont également été réalisées en suivant les normes ISO 26262 et 21434. L'architecture préliminaire de la téléopération a permis de définir tous les risques à considérer ainsi que les niveaux de sécurité requis afin de rendre le plus sûr possible le système de téléopération.

De plus, une preuve de concept (Proof-of-Concept / POC) a été réalisée grâce à un démonstrateur pouvant être conduit à distance par un téléopérateur. Le prototype de ce système d'exploitation à distance servira également de base aux futurs développements et tests.

Ce concept est principalement composé de 3 éléments:

- Le véhicule
- Le centre d'opérations
- L'infrastructure de communication

Pour permettre le fonctionnement du système, au moins un téléopérateur (humain avec permis de conduire) est nécessaire. De plus, pour garantir un fonctionnement totalement sûr et pour éviter tout risque supplémentaire lors des tests, un groom est nécessaire. Le rôle du groom est de reprendre physiquement la téléopération dans l'éventualité où une conduite sécuritaire du véhicule n'est plus assurée (par exemple en cas de panne critique du système de téléopération). Lors des tests effectués jusqu'à présent, le groom n'a jamais eu à reprendre l'opération.



Figure 2 - Centre de contrôle de la téléopération

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

Perception

L'objectif de cette partie est la recherche et le développement de différents algorithmes pouvant être utilisés pour détecter des objets dans l'environnement autour du véhicule autonome. L'objectif principal est la détection des véhicules et des piétons à l'aide de caméras (couleur et thermique), mais une réflexion est également faite sur la perception à l'aide d'autres capteurs comme la technologie RADAR.

Quelques jeux de données intéressants peuvent être trouvés sur Internet et pourraient être utilisés pour former un réseau neural (NN) et améliorer les performances de détection dans des scénarios spécifiques. Des jeux de données contenant des annotations sur des images infrarouges ont été recherchés principalement, car il s'agit du domaine à améliorer. Idéalement, les jeux de données contenant des annotations sur des images infrarouges fournissent également des images couleur annotées des mêmes scènes. Les principales annotations, par ordre d'utilité, qu'un jeu de données doit contenir pour présenter un intérêt pour ce projet sont:

1. Piétons
 - a. Sur une voie latérale
 - b. Traversant la rue
 - c. Dans différentes positions (debout, marche, assis, etc.)
2. Véhicules
 - a. Voitures
 - b. Vélos (électriques)
 - c. Camions
3. Animaux
4. Autres éléments

Les résultats obtenus grâce à ces jeux de données seront présentés dans le prochain rapport.

Path planning

Il vise à développer le module de contrôle de trajectoire et de mouvement d'un véhicule autonome. L'idée est d'acquérir suffisamment de connaissances techniques et technologiques du module de prise de décision contrôlant le comportement du véhicule. Les connaissances acquises seront alors d'une importance cruciale pour estimer dans quelle situation le téléopérateur prendra le contrôle du véhicule. Le projet est plus axé sur l'aspect logiciel, ceci en raison des ressources limitées. Il est clair que le matériel jouera un rôle principal pour les performances du véhicule, c'est pourquoi le véhicule sera divisé en plusieurs modules. Tout d'abord une pré-cartographie est effectuée avant de réaliser une carte de segmentation où chaque ligne est classée avec au moins un objet de trafic, par exemple: bord de route, intersection, signalisation d'arrêt, etc. Des résultats plus précis seront présentés dans le rapport final du projet de téléopération.

WP4 - Réglage et configuration du châssis et de la carrosserie

Le véhicule PerceptIn ne répondant pas aux exigences minimales pour la certification L6 / L7, une plate-forme construite par la société PIXMOVING a été achetée. Ce châssis est spécialement développé pour les véhicules autonomes. Il intègre tous les composants nécessaires au pilotage et dispose de multiples points de montage pour fixer la structure du prototype.

Feature	Value
Size	2516x1546x616mm
Wheelbase	1900mm
Wheeltrack	1355mm
Ground clearance	200mm
Chassis weight	470kg
Maximum load	800kg
Maximum speed	40km/h
Maximum gradeability	20%
Steering type	Four-wheel steering
Maximum turning radius	3m
Driving mileage	120km
Battery capacity	11kWh
Power	16kW (4 x 4kW)

Figure 3 - Caractéristiques du PIXLOOP

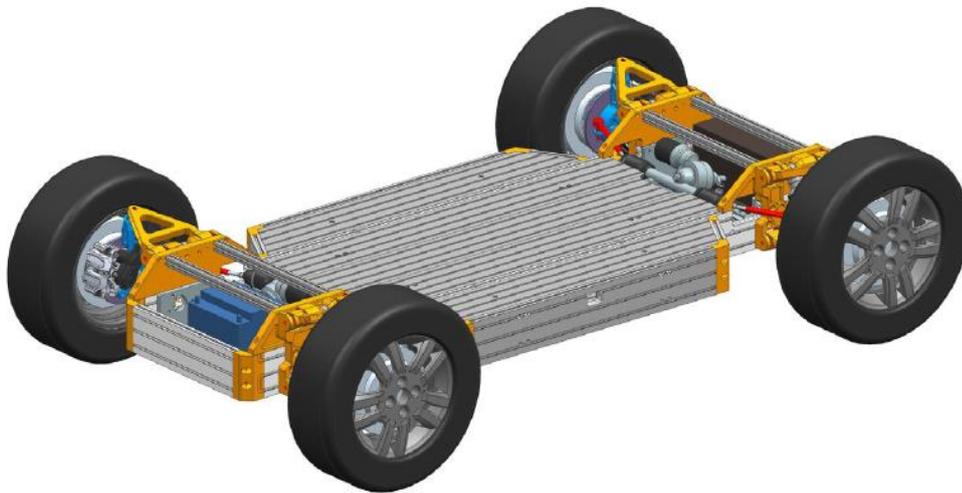


Figure 4 - Plateforme PIXLOOP

En collaboration avec le Dynamic Test Center, qui est l'un des partenaires du projet, l'homologation de ce châssis sera évaluée. Les résultats seront présentés dans le prochain rapport.

WP5 - Vérification et validation

Dans le cadre de cette analyse, l'objectif est de valider un FSR (Functional Safety Requirement) à travers une évaluation de modèle. En effet, différents modes de défaillance, respectivement mécanismes de sécurité, seront dérivés du FSR sélectionné et implémentés dans le modèle du système. Cette validation sera réalisée en utilisant les mécanismes de simulation de l'outil Cameo System Modeler et SysML. La deuxième phase de l'application de la méthode par modèle est consacrée à la validation des exigences de sécurité fonctionnelle (FSR) liées au système de véhicule téléopéré.

Comme au début de chaque processus de modélisation, une base de données solide et complète devrait être disponible. Cette base de données est utilisée comme entrée pour la conception du modèle système et du contexte de test. Dans le cas de la validation FSR, plusieurs documents ou données sont nécessaires:

- L'évaluation des dangers et des risques (HARA) : Elle répertorie les exigences fonctionnelles du système et son FSR associé. Les informations contenues dans ce document servent à préciser les objectifs de l'analyse.
- L'architecture du contexte du système : Elle spécifie les sous-systèmes du système en cours de conception (SUD / System-Under-Design) et leurs relations
- Les modes de défaillance des sous-systèmes et leurs effets sur le SUD. Ces informations serviront à concevoir les comportements défectueux des sous-systèmes.

Dans cette phase, l'objectif est de démontrer le potentiel des méthodes basées sur des modèles afin de valider le respect d'une exigence de sécurité fonctionnelle dans le cadre du projet de téléopération. Pour cette raison, une seule exigence fonctionnelle a été sélectionnée pour appliquer la méthodologie de modélisation et effectuer l'analyse complète des exigences et sera présentée dans le rapport final du projet téléopération.

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

Le groupe de projet Téléopération a eu une réunion avec l'OFROU le 20 janvier 2021 concernant les autorisations de circuler avec un véhicule téléopéré sur la voie publique. Il est apparu qu'il fallait trouver un projet pilote pour réaliser des tests de circulation sur routes mixtes. À cette fin, il sera également nécessaire de demander à l'OFROU une autorisation spéciale sur une certaine période. Les informations à détailler sont les suivantes:

- Concept d'exploitation
- Concept de fonctionnement
- Concept de sûreté et de sécurité
- Concept de formation
- Certificat d'assurance
- Accord de l'Office cantonal de la circulation
- Accord de la Police cantonale
- Accord du Canton et de la Commune où le test est effectué
- Autorisation OFCOM
- Autorisation OFT (si transport de personnes)

5. Résultats

Les résultats d'expériences obtenus entre les mois d'octobre 2020 et mars 2021 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.

5.1. Données

5.1.1. Kilomètres

Tableau 1 - Kilomètres par mois par véhicule

Mois	Navette rouge	Navette verte	Kangoo	Total
Octobre	314 km	248 km	482 km	1'044 km
Novembre	438 km	506 km	266 km	910 km
Décembre	276 km	299 km	468 km	1'043 km
Janvier	316 km	319 km	351 km	986 km
Février	422 km	477 km	167 km	1'366 km
Mars	414 km	494 km	332 km	1'240 km
Total	2'180 km	2'343 km	2'066 km	6'589 km

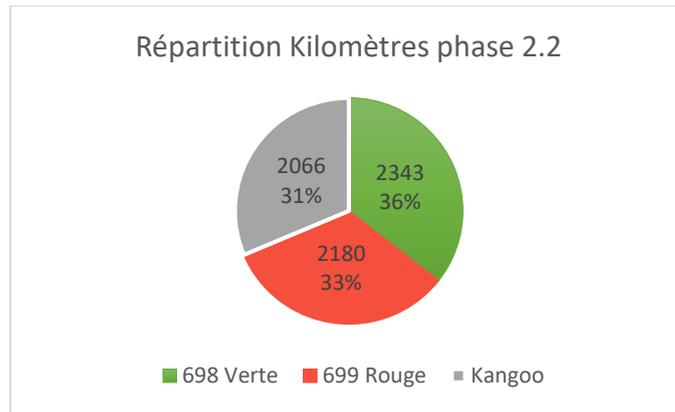


Figure 5 - Kilomètres totaux par véhicule

Constat

Le nombre de kilomètres effectués en Kangoo en octobre s'explique par plusieurs éléments. Durant la première moitié du mois d'octobre, d'importants travaux ont eu lieu sur la zone de l'arrêt Admin et sur la zone où le demi-tour est normalement effectué. La circulation a été assurée principalement en Kangoo pour des raisons de sécurité et car la chaussée était très rétrécie. Le MIC a profité de cette interruption pour faire l'entretien du tronçon dans la forêt. En novembre, la situation est revenue à une situation plus proche de la normalité avec une bonne utilisation des deux navettes. Les chiffres de décembre s'expliquent par le retour des deux navettes au centre des TPF à Givisiez pour des réparations et les contrôles techniques annuels effectués par l'OCN. En décembre et janvier, divers travaux de réparations des navettes ainsi que des chutes de neige ont perturbé l'exploitation. En mars, Navya est intervenu sur les navettes durant une semaine pour des réparations.

Comparaison avec phase 1 et rapport intermédiaire 2.1

Tableau 2 - 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
Phase 2 (oct-mars)	363 km	391 km	344 km

Pour rappel, la phase 1 s'est déroulée de septembre 2017 à mars 2020. La moyenne mensuelle des kilomètres effectués par les navettes entre avril 2020 et mars 2021 sont relativement stables mais en nette diminution par rapport à la phase 1. Cette tendance s'explique surtout par une diminution des prestations entre les deux phases et les travaux sur le MIC qui influencent fortement ces résultats. Comme il s'agit d'un facteur externe, les mesures d'améliorations sont limitées. Chaque parti doit faire des concessions et cela se ressent sur les résultats statistiques.

5.1.2. Passagers

Tableau 3 - Nombre de passagers par mois par véhicule

Mois	Navette rouge	Navette verte	Kangoo	Total
Octobre	65	53	146	264
Novembre	117	122	51	290
Décembre	41	44	94	179
Janvier	77	46	80	203
Février	104	159	39	302
Mars	124	85	67	286
Total	528	519	477	1'524

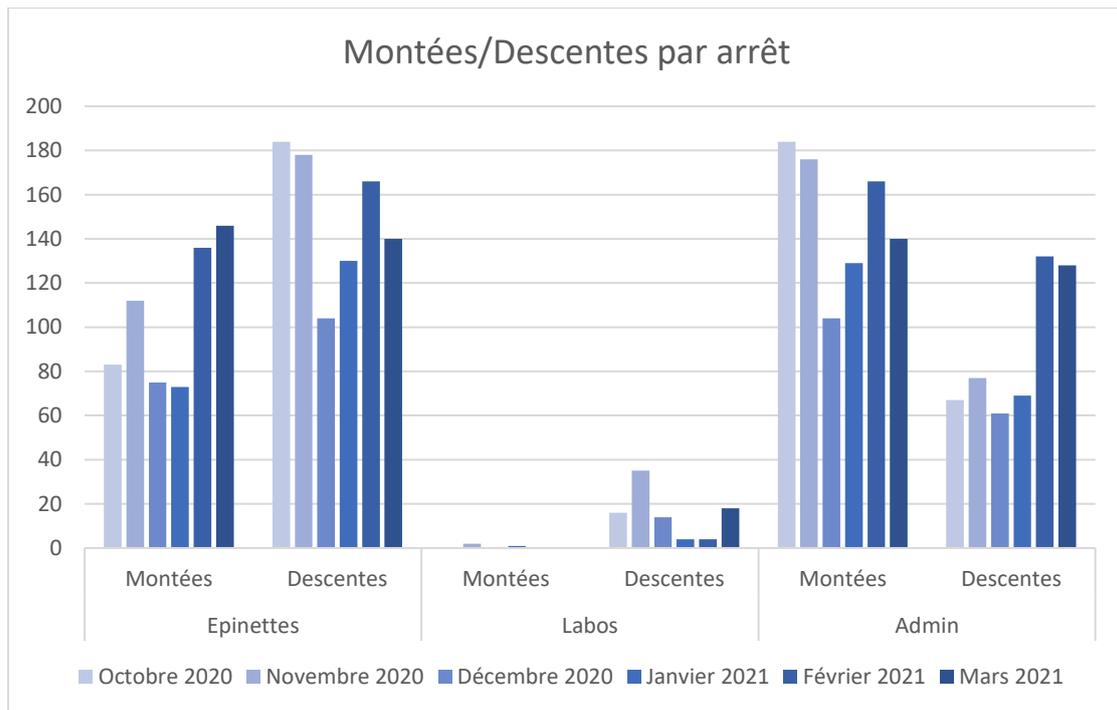


Figure 6 - Montées et descentes par arrêt

Constat

Les effets du Covid ne cessent de se faire ressentir sur la fréquentation des transports publics. Les lignes de l'Agglomération de Fribourg n'ont pas retrouvé un niveau de fréquentations similaires aux années précédant la pandémie. La ligne 100 ne déroge pas à ce constat. Un noyau de pendulaires subsiste mais les consignes concernant le télétravail impliquent une diminution des allers-retours. Très peu de trajets sont désormais effectués entre 11h et 14h. Comme d'habitude, une baisse a été observée durant les Fêtes de fin d'année. Une reprise intéressante est à noter au mois de février et mars.

Les travaux ont impliqué une diminution d'utilisation de l'arrêt Labo durant les six derniers mois d'exploitation pouvant être constaté sur le graphique précédant. Comme les navettes sont stationnées à l'arrêt Admin en attendant l'heure de départ, les clients marchent instinctivement en direction de cet arrêt et délaisse ainsi l'arrêt Labos.

Tableau 4 - Nombre de passagers par kilomètre effectué

Mois	Navette rouge	Navette verte	Kangoo	Moyenne
Octobre	0.22	0.21	0.29	0.24
Novembre	0.27	0.24	0.18	0.23
Décembre	0.15	0.15	0.20	0.17
Janvier	0.24	0.14	0.22	0.20
Février	0.25	0.33	0.23	0.27
Mars	0.30	0.19	0.19	0.23
Moyenne	0.24	0.21	0.22	0.22

Les données des mois d'octobre et décembre confirment la plus forte utilisation du Kangoo suite aux travaux et aux conditions météorologiques. Le mois de janvier est plus nuancé notamment à cause de la météo et d'une intervention de Navya. De manière générale, les données sont beaucoup plus éparpillées que lors des six mois précédents. L'exploitation a donc été plus fortement influencée.

Comparaison avec phase 1 et rapport intermédiaire 2.1

Tableau 5 - Moyenne des passagers mensuelle par phase

Phase	Navette rouge	Navette verte	Kangoo
Phase 1	156	144	89
Phase 2 (avril-sept.)	83	91	92
Phase 2 (oct-mars)	88	87	80

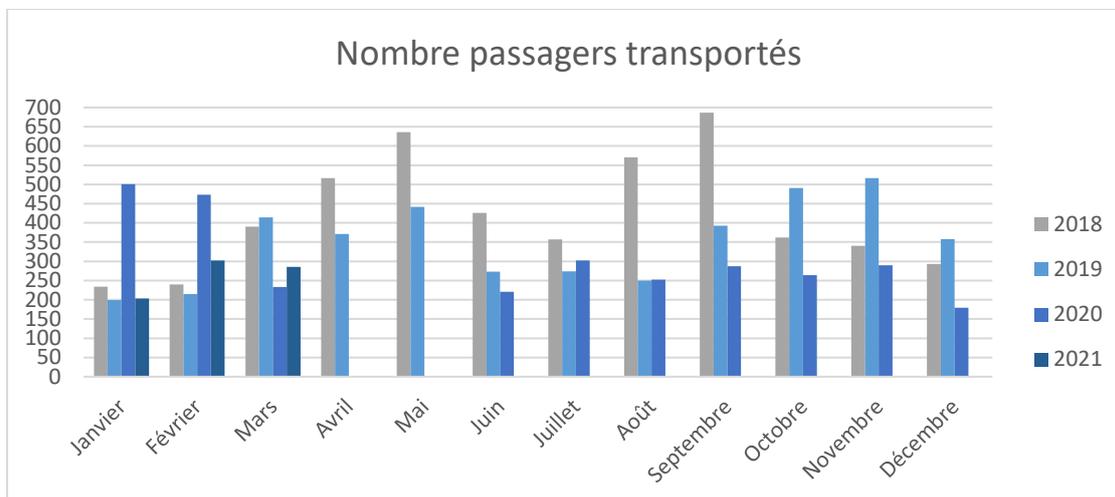


Figure 7 - Nombre passagers 2018-2019-2020-2021

Pour rappel, 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 composée essentiellement des 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.

Les chiffres de début 2021 sont encourageants car ils montrent une légère progression. Certes ils ne sont pas aussi conséquents qu'en début 2020 mais ils demeurent positifs. Cette tendance devra être confirmée durant les prochains mois.

Actuellement, l'impact Covid sur la ligne 100 au niveau des fréquentations représente environ une baisse de 30 % en comparaison avec les données mensuelles pour les 3 derniers mois de 2020 et de 48 % pour les mois de janvier et février 2021 en comparaison avec les mêmes mois en 2020 avant Covid.

5.1.3. Conduite manuelle et automatique

Tableau 6 - Moyenne mensuelle conduite en manuel par véhicule

Mois	Navette rouge	Navette verte	Moyenne
Octobre	22.9 %	27.0 %	24.9 %
Novembre	23.7 %	25.2 %	24.4 %
Décembre	37.6 %	30.8 %	34.2 %
Janvier	36.7 %	30.6 %	33.6 %
Février	27.9 %	28.4 %	28.1 %
Mars	35.8 %	34.5 %	35.1 %
Moyenne	30.8 %	29.4 %	30.1 %

Constat

Des augmentations du pourcentage de conduite en mode manuel ont été observées en décembre, janvier et mars. L'accumulation des travaux et des conditions météorologiques défavorables expliquent ce phénomène pour les trois mois cités précédemment. Sinon les moyennes des autres mois sont relativement stables et similaires aux mois d'exploitation précédents. Il n'y a pas de changements significatifs à noter.

Comparaison avec phase 1 et rapport intermédiaire 2.1

Tableau 7 - Moyenne mensuelle par phase

Phase	Navette rouge	Navette verte
Phase 1	45.0 %	44.4 %
Phase 2 (avril-sept.)	29.1 %	30.1 %
Phase 2 (oct-mars)	30.8 %	29.4 %

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. Les six derniers mois confirment une tendance à la stabilisation du taux de conduite en mode manuel.

5.1.4. Vitesse moyenne

Tableau 8 - Vitesse moyenne mensuelle par navette

Mois	Navette rouge	Navette verte	Moyenne
Octobre	7.2 km/h	7.2 km/h	7.2 km/h
Novembre	7.3 km/h	7.2 km/h	7.3 km/h
Décembre	7.3 km/h	7.3 km/h	7.3 km/h
Janvier	7.5 km/h	7.3 km/h	7.4 km/h
Février	7.4 km/h	7.4 km/h	7.4 km/h
Mars	7.4 km/h	7.5 km/h	7.5 km/h
<i>Moyenne</i>	<i>7.4 km/h</i>	<i>7.3 km/h</i>	<i>7.4 km/h</i>

Constat

Durant les six derniers mois d'exploitation, les vitesses moyennes sont très stables. De petites variations peuvent être observées certainement à cause des travaux mais elles restent très faibles. Les travaux ne touchent qu'une petite partie du parcours, c'est pourquoi leur influence sur les vitesses moyennes ne se ressent que très peu.

Comparaison avec phase 1 et rapport intermédiaire 2.1

Tableau 9 - 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
Phase 2 (oct-mars)	7.4 km/h	7.3 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. Cependant, durant la phase 2, seule une très minime différence sur la navette verte peut être remarquée mais ce n'est de loin pas significatif.

5.2. Exploitation

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

5.2.1. Facteurs externes

L'exploitation de la ligne 100 est parfois perturbée par des facteurs très divers et souvent difficilement prévisibles. Contrairement aux six précédents mois, les problèmes d'absence du personnel formé ont pu être résolus. Du personnel en suffisance était présent en cas d'absence

d'un collègue. Cette amélioration a permis d'augmenter la satisfaction du personnel et de ménager les personnes fortement sollicitées les mois précédents.

La période hivernale apporte chaque année son lot de perturbations météorologiques non planifiables. L'hiver 2020-2021 n'a pas échappé à cette règle. Plusieurs épisodes neigeux ont forcé les navettes à rester au garage durant quelques heures. Une fois les routes dégagées et salées, elles ont à nouveau pu être mises en circulation en toute sécurité. Le vent a également provoqué des désagréments en renversant les barrières de chantier. Le Kangoo était alors utilisé le temps que les ouvriers les refixent correctement. Au total, des perturbations de l'exploitation dues à la météo ont impacté 12 jours d'exploitation.



Figure 8 - Barrières tombées à cause du vent

Comme depuis une année, les travaux toujours en cours sur le site du MIC ont causé de nombreuses perturbations d'exploitation. D'une part, il arrive régulièrement que les travaux empiètent sur la zone de circulation des navettes. En effet, la majorité des travaux concerne la pose de canalisations et de services et de ce fait, des traversées de routes sont nécessaires pour connecter les différents secteurs du MIC. Durant l'hiver, il est arrivé à quelques reprises que les plaques sur les fouilles soient verglacées. Pour prévenir tout risque d'accident avec les navettes, l'exploitation s'est faite en Kangoo le temps que la plaque dégèle et ne représente plus un danger. La collaboration est toutefois toujours positive entre les différents acteurs impliqués. Cependant, une ombre au tableau entache la bonne circulation des navettes. A quelques reprises, des véhicules de chantier ont eu des comportements dangereux envers les navettes en leur coupant la priorité à la sortie du chantier. Un rappel du comportement à adopter pour les ouvriers du chantier a été réalisé par le MIC et depuis les problèmes ont cessé.



Figure 9 - Schéma de déviation provisoire Figure 10 - Plaque de fouille glissante en hiver

Un incident se produit le 6 janvier 2021 aux alentours de 16h. La navette verte P40 a été sortie du garage pour reprendre son service. Le personnel accompagnant a programmé le prochain arrêt. Arrivé à la hauteur du local de pause, le groom a stoppé la navette pour se rendre quelques instants dans le local. Lorsqu'il en est ressorti, deux personnes étaient montées à bord et ont cliqué sur le bouton GO du dashboard. Le groom a couru derrière la navette et a chuté se blessant à un genou. Heureusement un stop est programmé avant de s'engager sur la route principale et le groom a pu atteindre la navette. Les clients ont affirmé qu'ils pensaient que la navette ne

nécessitait pas d'accompagnant. Leur bonne foi n'a pas pu être prouvée ou réfutée. Cependant, des mesures immédiates ont été prises et une nouvelle procédure mise en place pour éviter une mise en mouvement des véhicules par des tiers.

En comparaison avec les phases précédentes d'expérimentation, durant les six derniers mois, la végétation a posé moins de problèmes de manière générale. Quelques véhicules ont aussi emprunté la Route de l'Ancienne Papeterie mais moins fréquemment que précédemment. Les facteurs externes liés au chantier et aux conditions météorologiques sont stables et relativement similaires en comparaison avec les phases précédentes.

5.2.2. Problèmes techniques

Différents problèmes techniques ont eu des impacts sur l'exploitation et sont répertoriés dans le tableau suivant :

Tableau 10 - Problèmes techniques

Problème	Impacts	Mesures / Solutions
Lidar défectueux	Messages erreurs et arrêts	Changement de la pièce
Difficultés à fermer les portes	Ouverture portes en manuel	Changements rotules et réglages
Traces d'usure sur prises		Changements prises et ajouts d'interrupteurs rotatifs au garage
Perte 3G	Arrêts brusques	Redémarrage antenne
Détection pente de la rampe	Arrêts brusques	Mise à jour logiciel
Détection des escaliers aux Epinettes	Arrêts brusques	Mise à jour logiciel
Bruit anormal	Bruit gênant	Remplacement du moto-réducteur
Amortisseur et compresseur usés		Changement d'amortisseurs et compresseur de suspensions
Erreur logiciel après récupération logs	Mise en automatique impossible	Mise à jour du logiciel

Lidar défectueux

A partir de mi-mars, les opérateurs ont remarqué que le lidar avant de la navette rouge faisait un bruit anormal et dérangerant. Par la suite, la navette s'est arrêtée plusieurs fois car elle ne parvenait pas à se connecter correctement à ce lidar. Il est prévu de le changer lors de la prochaine intervention de la maintenance de Navya planifiée en début avril.



Figure 11 - Lidar défaillant sur P27

Fermeture des portes

Depuis le début du mois de février, il arrive que les portes ne fonctionnent pas correctement sur la navette rouge. Dès lors, une ouverture manuelle est nécessaire. Le problème est principalement survenu lors du démarrage de la navette dans son garage. Le problème a pu être réglé lors de l'intervention de Navya au début du mois de mars. Les techniciens ont changé les rotules et procéder à des réglages des portes. Dès lors, aucune nouvelle occurrence n'a été signalée.



Figure 12 - Erreur portes en défaut

Traces d'usure sur prises

Des traces d'usure ont été constatées sur les prises de recharge des deux navettes au niveau des connecteurs du côté véhicule. En effet, les parties en plastique vers les connecteurs commençaient à montrer des signes de faiblesse. Navya a donc procédé au changement des deux câbles de recharge. Afin d'éviter une usure anormale à cause de la puissance du courant électrique, des interrupteurs rotatifs ont été installés dans le garage. Ces derniers permettent d'assurer une coupure de courant complète lors du branchement et débranchement des navettes.



Figure 13 - Interrupteur rotatif

Perte 3G

Le 30 mars, des problèmes de réception des corrections GNSS ont été observés sur les deux navettes. Ces pertes de connexion peuvent entraîner des arrêts inopinés des véhicules si le hit ratio des lidars n'est pas suffisamment élevé au moment de la perte de connexion. Après diagnostic de la supervision de Navya, l'antenne GNSS sur le toit d'un bâtiment du MIC a été redémarrée. Cette action a permis de résoudre le problème ce jour-là. Mais, des investigations plus approfondies sont en cours chez Navya actuellement.



Figure 14 - Perte de réception des corrections GNSS

Détection pente de la rampe et escaliers Epinettes

Depuis mi-février environ, les deux navettes détectent la pente de la rampe à la sortie du site du MIC comme un obstacle. La navette verte est moins sensible car de manière générale, elle détecte la pente, s'arrête puis redémarre seule après 2-3 secondes tandis que la navette rouge s'arrête et ne repart pas d'elle-même. Le groom doit intervenir et la faire avancer de quelques mètres en mode manuel avant de la relancer en mode automatique. La navette rouge détecte également les escaliers du nouveau bâtiment aux Epinettes comme un obstacle et s'arrête. Navya a tenté de faire une nouvelle calibration des lidars mais cette opération n'a pas résolu le problème au mois de mars. Durant l'intervention de début avril et au futur changement de lidar de la navette rouge, Navya va procéder à une nouvelle tentative de calibration.



Figure 15 – Rampe à la sortie du MIC et Figure 16 – Escaliers aux Epinettes

Bruit anormal

Un bruit anormal a été détecté par les grooms depuis la fin de l'année dernière. Il est devenu de plus en plus conséquent au fil des semaines. Il s'est avéré que ce bruit provenait du moto-réducteur. Le changement de cette pièce nécessite d'avoir accès à un pont élévateur. La navette a donc été transportée au centre de maintenance des TPF pour que les techniciens de Navya puissent travailler en toute sécurité.



Figure 17 - Transport de la navette rouge au dépôt TPF

Amortisseur et compresseur

La navette verte a présenté une anomalie au niveau des suspensions. Il arrive parfois que lors du démarrage matinal, l'un des compresseurs ne fonctionne pas correctement et la suspension de la roue arrière gauche soit en dérangement. Ce problème peut être décelé visuellement car l'espace entre le pneu et la carrosserie n'est pas identique sur les quatre roues. Navya a fait un diagnostic et il est prévu de changer le porte-fusible. De plus, une légère fuite a également été constatée et devra être traitée lors d'une prochaine intervention. Cette navette peut continuer de circuler pour le moment.



Figure 18 - Roue avant gauche



Figure 19 - Roue arrière gauche

Erreur logiciel au démarrage

Comme depuis le début de la mise en circulation des navettes, la navette rouge rencontre toujours des problèmes de démarrage logiciel. Différents câbles connectés aux ordinateurs ont été remplacés et vérifiés. Cependant, le problème persiste avec des occurrences plus nombreuses durant les six derniers mois d'exploitation.

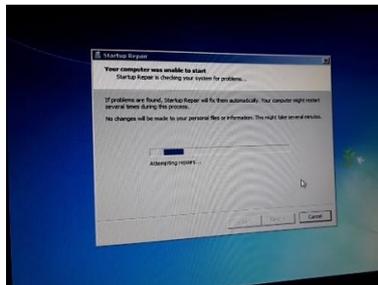


Figure 20 - Message d'erreur typique

En comparaison avec les mois antérieurs et d'une manière générale, la situation du point de vue technique et logiciel est relativement stable quant au nombre d'occurrence et à leur nature. Il n'y a pas de différences importantes. Par contre, il est intéressant de noter une amélioration du traitement des anomalies depuis la mise en place d'un système de ticket avec Navya. La réactivité est meilleure et permet de mieux organiser les interventions de maintenance pour les deux parties.

5.3. Appréciation générale de l'exploitant

La reprise d'une exploitation normale suite au Covid n'est pas aisée. Malgré la présence de notre personnel et d'un plan de mesures de protection, il reste difficile de retrouver la confiance des clients car les navettes sont exiguës. Les transports publics de manière générale ne jouissent pas d'une grande popularité en ces temps de pandémie.

Le point positif des 6 derniers mois est le raccourcissement des temps d'intervention de Navya et la meilleure gestion des problèmes. En effet, les temps de réaction sont améliorés et les délais

d'intervention de la maintenance sont réduits. Le système de ticket mis en place par Navya permet de gagner en efficacité de leur côté mais également du côté de l'exploitant. Les interventions de Navya sur site ont été plus nombreuses avec trois semaines de présence réparties sur les six derniers mois. Après 3 ans et demi, certaines parties mécaniques notamment fatiguent et sont usées nécessitant donc un remplacement. Les navettes ont également passé avec succès les contrôles annuels techniques de l'OCN.

La coordination entre les grooms et les responsables des chantiers du MIC se déroule bien. Les perturbations pour l'exploitation sont de plus en plus nombreuses car les constructions prennent de l'ampleur rapidement. Les différentes données statistiques telles que le pourcentage en mode manuel démontre ce phénomène.

6. Développements futurs

Comme planifié dès le début de l'exploitation de la ligne 100, les commanditaires cesseront le financement de cette ligne dès l'arrivée d'une desserte conventionnelle par bus du Marly Innovation Center. Lors du changement d'horaires national de décembre 2021, la ligne 8 sera prolongée en direction du MIC. De ce fait, la ligne 100 ne sera plus financée et son exploitation sera stoppée. Les prochains mois vont permettre de préparer la fin de cette expérimentation à Marly. Des réflexions sont actuellement menées à l'interne de TPF sur la suite à donner à cette première expérience dans la mobilité autonome. En parallèle, le projet Téléopération mené par Swissmoves permet également d'ouvrir de nouvelles perspectives. Les résultats finaux de ce projet seront présentés dans le prochain rapport d'expériences.

Les TPF s'impliquent également dans un projet conjoint de la HEIA-FR et la HEIG-VD traitant notamment de la mobilité du futur et intégrant plusieurs partenaires de domaines très variés. Les demandes de financement sont en cours.

Les TPF font également partie d'une association regroupant diverses entreprises de transports publics, d'industriels et de partenaires du milieu académique. Un des buts est de pouvoir développer des projets concrets en lien avec la mobilité autonome. Cette association permet d'ouvrir de nouvelles perspectives et de faire évoluer positivement le développement de nouvelles technologies en Suisse.

7. Conclusion

Ces six derniers mois d'exploitation ont encore été marqués par la pandémie même si une certaine stabilité a pu être retrouvée et ce malgré la succession des différentes vagues au niveau mondial. Dorénavant, il est clair que les effets se ressentiront à long terme notamment en termes d'habitudes de mobilité liées au télétravail et à une augmentation de l'utilisation de la mobilité douce. Concernant les navettes automatisées, il peut être constaté que le retour de la clientèle est relativement lent et timide. Les derniers chiffres du printemps donnent des signes positifs de reprise. D'une manière générale, l'exploitation a été stable en se traduisant par exemple avec des kilomètres effectués des taux de conduite manuelle et des vitesses moyennes proches des derniers rapports d'expériences. Le nombre d'occurrences de problèmes mécaniques et de logiciel est en baisse ce qui encourageant. Par contre, différentes pièces sont usées et nécessitent d'être changées impliquant des transports supplémentaires des navettes au dépôt des TPF afin d'avoir accès à des moyens de lavage. Durant l'hiver, il y a eu passablement d'épisodes neigeux par rapport aux années précédentes impliquant un arrêt temporaire des navettes. Le facteur externe le plus contraignant demeure le chantier mais la collaboration avec les ouvriers se déroulent bien dans l'ensemble. Le principal point positif est l'amélioration de la réactivité de Navya que ce soit pour des interventions à distance ou sur site. Ces dernières ont été plus nombreuses permettant de résoudre les anomalies plus rapidement et plus efficacement. Une nouvelle mise à jour du logiciel va être mise en place ces prochaines semaines. Concernant la collaboration avec la HEIA, le projet téléopération est quasiment terminé et des réflexions sur

une application concrète sont en cours. L'arrêt officiel de la ligne 100 est planifié pour le changement d'horaires prochain. En effet, dès le début du projet, il a été convenu avec les différents partenaires que la ligne 100 cesserait le jour où une ligne de bus urbaine sera prolongée jusqu'au Marly Innovation Center. Les six prochains mois vont permettre de stabiliser le système et d'obtenir encore de précieuses données avant la préparation de la fin du projet.

8. Tables des figures

Figure 1 - Marly Innovation Center – Chantier Ecoquartier 2021.....	3
Figure 2 - Centre de contrôle de la téléopération	5
Figure 3 - Caractéristiques du PIXLOOP	7
Figure 4 - Plateforme PIXLOOP	7
Figure 5 - Kilomètres totaux par véhicule.....	9
Figure 6 - Montées et descentes par arrêt	10
Figure 7 - Nombre passagers 2018-2019-2020-2021	11
Figure 8 - Barrières tombées à cause du vent	13
Figure 9 - Schéma de déviation provisoire.....	13
Figure 10 - Plaque de fouille glissante en hiver.....	13
Figure 11 - Lidar défaillant sur P27	14
Figure 12 - Erreur portes en défaut.....	15
Figure 13 - Interrupteur rotatif	15
Figure 14 - Perte de réception des corrections GNSS	15
Figure 15 – Rampe à la sortie du MIC	16
Figure 16 – Escaliers aux Epinettes.....	16
Figure 17 - Transport de la navette rouge au dépôt TPF	16
Figure 18 - Roue avant gauche	17
Figure 19 - Roue arrière gauche	17
Figure 20 - Message d'erreur typique	17
Tableau 1 - Kilomètres par mois par véhicule	8
Tableau 2 - Moyenne mensuelle des kilomètres par phase	9
Tableau 3 - Nombre de passagers par mois par véhicule	9
Tableau 4 - Nombre de passagers par kilomètre effectué.....	10
Tableau 5 - Moyenne des passagers mensuelle par phase	11
Tableau 6 - Moyenne mensuelle conduite en manuel par véhicule	11
Tableau 7 - Moyenne mensuelle par phase	12
Tableau 8 - Vitesse moyenne mensuelle par navette.....	12
Tableau 9 - Vitesse moyenne mensuelle par phase	12
Tableau 10 - Problèmes techniques	14