



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et
de la communication (DETEC)

Office fédéral des transports OFT

Programme Stratégie énergétique 2050 des transports publics
(SETP 2050)

084 DÉVELOPPEMENT D'UN SYSTÈME EM- BARQUÉ DANS LES BUS POUR FAVORISER UNE CONDUITE ÉCOLOGIQUE

Navig (Nom donné au système développé)

Rapport final

Véronique Robatel, Transports publics fribourgeois Trafic (TPF TRAFIC) SA, Route du Vieux-
Canal 6, 1762 Givisiez, veronique.robatel@tpf.ch, www.tpf.ch

**Dr Fabien Vannel, Professeur HES, Haute école du Paysage, d'Ingénierie et d'Architecture de
Genève**, Rue de la Prairie 4, 1202 Genève, fabien.vannel@hesge.ch, hepia.hesge.ch

Groupe d'accompagnement

M. Christian Abegg, HEPIA
M. Juan Antezana, HEPIA
M. Jean-Marc Allenbach, HEPIA
M. Michel Alder, Quality Alliance Eco-Drive

Mentions légales

Éditeur:
Office fédéral des transports OFT
Programme : Stratégie Énergétique 2050 dans les transports publics (SETP 2050)
CH-3003 Berne

Conduite du programme
Tristan Chevroulet, OFT

Numéro de projet: 084
Source
Accessible gratuitement par Internet
www.bav.admin.ch/energie2050

Seul l'auteur (e) ou les auteurs (es) sont responsables du contenu et des conclusions de ce rapport.

Berne, le [jj.mm.aaaa]

Table des matières

Executive Summary en allemand.....	1
Executive Summary en français.....	2
Executive Summary en anglais.....	2
Zusammenfassung in Deutsch.....	3
Summary in English.....	8
1. Situation de départ.....	13
2. Objectifs du travail.....	14
3. Approche adoptée et état des connaissances actuelles.....	14
4. Résultats.....	15
5. Discussion.....	16
6. Conclusions et recommandations.....	21
Liste des symboles et abréviations.....	22
Références.....	22
Annexes.....	23
Rapport technique du 13.11.2020 (confidentiel).....	23

Executive Summary en allemand

Chauffeurs im öffentlichen Verkehr werden in der EcoDrive-Fahrtechnik geschult. Es fehlt jedoch bis heute an einem qualitativen Referenzrahmen, mit welchem sich Busfahrer auf ihren Linien selbst evaluieren können.

Im Rahmen des Projekts wurde ein Bordsystem entwickelt, das in thermischen Bussen zum Einsatz kommt. Das System analysiert die Fahrparameter und liefert dem Fahrer geolokalisierte Empfehlungen, indem es laufend die Fahrzeugdaten verarbeitet und diese in Korrelation mit der Beschleunigungsmessung, den Passagierlastdaten und dem Fahrgastinformationssystem (FIS) bringt. Es werden ständig Indikatoren berechnet, die zwölf in zwei Kategorien aufgeteilte Fahrereignisse aufzeichnen: punktuelle Ereignisse und verhaltensbezogenen Ereignisse.

Diese Aufzeichnungen zeigen den Fahrern auf, wie sie ihre Fahrweise verbessern können, und tragen so zu einem höheren Fahrkomfort für die Reisenden und zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs bei. Punktuelle Ereignisse liefern Informationen, wenn Grenzwerte überschritten werden. Verhaltensbezogene Ereignisse werden über den Vergleich der Fahrten aller TPF-Fahrer erfasst. Durch die grosse Anzahl Daten auf diesen Strecken können anhand verschiedener Kriterien Modelle guter Fahrweisen dargestellt werden. Das Verhalten eines Fahrers zwischen zwei aufeinanderfolgenden Haltestellen wird mit jenem seiner Kollegen in ähnlichen Verkehrssituationen verglichen.

Die übermittelten Informationen werden auf dem Bordbildschirm, den Fahrern zur Verfügung gestellten Tablets und auf einer Website angezeigt. Der Fahrer verfügt über seine persönlichen Daten und kann sich so selbst verbessern. Für das Management werden anonyme, pauschale Leistungsindikatoren erstellt.

Das Projekt soll dazu führen, dass alle TPF-Fahrer umweltfreundlich fahren, mit dem Ziel, den Reisekomfort zu verbessern und den Kraftstoffverbrauch um 10 Prozent zu reduzieren.

Executive Summary en français

Les conducteurs des transports publics sont formés aux techniques de conduite eco-drive, néanmoins ils ne disposent pas à ce jour d'un référentiel qualitatif leur permettant de s'évaluer sur leurs lignes de bus.

Ce projet a permis de développer un système embarqué déployé dans des bus thermiques qui analyse les paramètres de conduite et donne aux chauffeurs des conseils géo-localisés. Le système traite en continu les données du véhicule et les corrèle avec les mesures d'accélération, les données de charges passagers et de SAEIV. A chaque instant, des indicateurs sont calculés afin de détecter 12 événements de conduite, répartis en deux catégories : les événements ponctuels et les événements comportementaux.

Ces détections renseignent les chauffeurs sur les améliorations possibles de leur attitude de conduite et participent ainsi à l'amélioration du confort des usagers et à la diminution de la consommation en carburant. Les événements de type ponctuel informent du dépassement d'un seuil. Les événements de type comportemental sont obtenus par comparaison avec les conduites réalisées par l'ensemble des conducteurs des TPF. Le grand nombre de données acquises sur ces trajets permet de modéliser les bonnes conduites en fonction de plusieurs critères. Le comportement du conducteur est comparé à celui de ses collègues entre deux arrêts consécutifs dans des conditions de transport similaires.

Les informations transmises s'affichent sur le tableau de bord, sur des tablettes informatiques à disposition des chauffeurs et sur un site web. Le conducteur dispose de ses données personnelles et peut ainsi s'auto-améliorer. Des indicateurs de performance globale anonymes sont quant à eux mis à disposition du management.

Les objectifs fixés par ce projet sont la mise en place d'une conduite écologique auprès de l'ensemble des chauffeurs des TPF avec le but d'améliorer le confort des passagers et de réduire la consommation de carburant de l'ordre de 10%.

Executive Summary en anglais

L'Although bus drivers are trained in eco-driving techniques, to date they do not have a quality benchmark against which to self-evaluate their driving on their routes.

The purpose of this project was to develop an on-board system for ICE buses that analyses driving parameters and gives drivers geo-localised recommendations. The system continuously processes vehicle data and correlates it with acceleration measurements, passenger load data and PIS data. Calculations are continually made to detect 12 driving events split into two categories: one-off events and behavioural events.

These detected events give drivers feedback on ways of improving their driving, thereby increasing passenger comfort and reducing fuel consumption. One-off events are those where drivers have exceeded a threshold. Behavioural events are detected through comparison against driving by all TPF drivers. The vast amount of data collected on these journeys enables good driving to be modelled, based on a number of criteria. Driver behaviour is compared to that of colleagues between two consecutive stops in similar conditions.

This information is displayed on the dashboard, on tablet computers provided to drivers and on a dedicated website. Drivers can access their personal data, enabling them to self-improve their driving, while anonymous overall performance indicators are provided to management.

The aim of this project is to ensure that all TPF drivers adopt eco-driving techniques to improve passenger comfort and reduce fuel consumption by around 10%.

Zusammenfassung in Deutsch

Thermische Busse weisen einen hohen Kraftstoffverbrauch auf (im Schnitt 45 Liter/100 km für 18 m lange Busse auf dem regionalen Verkehrsnetz und 61 Liter/100 km für 18 m lange Busse auf dem Stadtverkehrsnetz [TPF-Werte für 2019]). Die TPF verbrauchen mit thermischen Fahrzeugen jährlich 5 Millionen Liter Kraftstoff auf einer Strecke von fast 12 Millionen Kilometern.

In der Schweiz erzeugt der Individual- und öffentliche Verkehr einen Drittel des Energieverbrauchs. Die Energiestrategie 2050 (ESöV 2050) sieht eine Reduktion von 50 Prozent des Energieverbrauchs im öffentlichen Verkehr vor. Die Verbesserung der Energieeffizienz ist Teil des Umsetzungsprogramms der Energiestrategie 2050 im öffentlichen Verkehr [1].

EcoDrive kann zu diesem Ziel beitragen: «Mit einer gleichmässigen und vorausschauenden Fahrweise sparen Sie bis zu 15 % Treibstoff.» [2]. Energie Schweiz fördert über Quality Alliance Eco-Drive bereits seit 1990 umweltfreundliches Fahren. [3]. Deshalb gehört EcoDrive zu den Themen, die an den CZV-Kursen für Fahrer behandelt werden (Chauffeurzulassungsverordnung). Doch nichts geht über das regelmässige Üben, um sich von alten Fahrgewohnheiten zu lösen! Das Einrichten eines Bordsystems in Bussen, das dem Fahrer regelmässig Informationen über die Fahrqualität liefert, kann hier einen Beitrag leisten. Der Fahrer kann in seinem eigenen Tempo an den verbesserungswürdigen Aspekten seiner Fahrweise arbeiten. Die regelmässige Bereitstellung von Informationen verhindert, dass der Fahrer an alten, ungeeigneten Fahrgewohnheiten festhält oder zu solchen Gewohnheiten zurückkehrt.

Die TPF überprüften 2015 die auf dem Markt erhältlichen Systeme. Es zeigte sich jedoch, dass keines dieser Systeme geeignet war, um die gesetzten Ziele zu erreichen. Die TPF haben darauf die Möglichkeit geprüft, ein massgeschneidertes System durch eine Ingenieurschule entwickeln zu lassen, das alle Ziele abdeckt. Zwei Vorstudien, mit welchen HEIA-FR (Freiburg) und HEPIA (Genf) beauftragt wurden, haben einen erheblichen Unterschied im Kraftstoffverbrauch aufgezeigt, der mit der Fahrweise der Chauffeure in Verbindung steht. Diesen Daten zufolge war es realistisch, einzig durch Veränderung der Fahrweise mit einer Reduktion des Verbrauchs um 10 Prozent zu rechnen [4]. Die TPF haben sich dafür entschieden, das Entwicklungsprojekt voranzutreiben und beantragten im Januar 2016 beim Bundesamt für Verkehr eine Unterstützung im Rahmen der ESöV 2050.

Das Hauptziel war die Entwicklung eines innovativen Bordsystems für thermische Busse, mit dem die Fahrweisen der Chauffeure evaluiert und den Fahrern nützliche Informationen zur Anwendung eines umweltfreundlichen Fahrstils geliefert werden können. Dank den vom System zur Verfügung gestellten Informationen können sich die Fahrer selbst evaluieren und ihre Fahrweise selbstständig korrigieren. Die Entscheidungsfreiheit der Chauffeure in Bezug auf ihre Fahrweise ist eine der grossen Herausforderungen des Projekts.

Das erwartete Ergebnis soll nicht nur die Umwelt weniger belasten, sondern den Fahrgästen auch einen höheren Fahrkomfort und mehr Sicherheit bieten. Die Einführung eines solchen Systems führt zu Einsparungen beim Kraftstoff und tieferen Kosten für Ersatzteile, wie zum Beispiel Bremsbeläge und Pneus. Diese Einsparungen wirken sich auch auf die Kosten für die Auftraggeber aus. Damit das entwickelte System von allen interessierten Verkehrsunternehmen in der Schweiz genutzt werden kann, muss es so konzipiert sein, dass es einfach an das spezifische Umfeld der verschiedenen Unternehmen angepasst werden kann.

Das gewählte Vorgehen umfasst die Konzeption einer in den Fahrzeugen eingebauten Technologie, die aussagekräftige Daten sammelt, aufzeichnet und an eine Ferndatenbank übermittelt. Ebenfalls wird ein auf dem Instrumentenbrett der Busse installierter Bildschirm entwickelt, der den Fahrern in Echtzeit Informationen zu ihrer Fahrweise liefert. Die Gehäuse und Bildschirme werden in 30 Bussen installiert. Die Evaluierung der Fahrweise mit der Erkennung von Situationen, in denen die EcoDrive-Technik nicht angewendet wird sowie deren Geolokalisierung entstammen mathematischen Modellen, die es zu entwickeln gilt.

Den Fahrern und ihren Vorgesetzten soll der Zugang zu den Daten mittels einer Schnittstelle ermöglicht werden, die geolokalisierte Informationen zur Fahrweise sowie verschiedene Analysegrafiken liefert. Die Inbetriebnahme des Systems bei allen Chauffeuren des Unternehmens ist im Rahmen dieses Projekts vorgesehen.

Die Schaffung eines kommerziellen Modells, das anderen interessierten Verkehrsunternehmen zur Verfügung gestellt werden kann sowie das IT-Management der Software (Support, Fortbestand des Systems, Verbesserung und erforderliche spätere Weiterentwicklung) gehören auch zu den Zielen des Projekts.

Die wichtigsten gewonnenen Erkenntnisse sind die Folgenden:

Auf ihrem Tablet erhalten die Fahrer auf vertrauliche Weise mittels einer Website die Analyse jeder in einem mit dem System ausgerüsteten Fahrzeug absolvierten Fahrt. So erfahren sie, welche Elemente ihrer Fahrweise verbessert werden können. Das System erkennt zwölf verschiedene Fahrereignisse. Jedes dieser Ereignisse wird auf einer Karte mit einem in Prozent ausgedrückten Wert zwischen 0 und 100 angezeigt. Ebenfalls wird für jede Fahrt eine Prozentangabe, die den Fahrkomfort und die Kraftstoffeinsparung angibt, angezeigt (siehe Abbildung 1). Die erkannten Ereignisse werden in zwei Kategorien aufgeteilt: punktuelle Ereignisse und verhaltensbezogene Ereignisse. Punktuelle Ereignisse liefern Informationen zum Überschreiten von Grenzwerten. Verhaltensbezogene Ereignisse stammen aus einer Analyse der Cloud, die sich auf alle durchgeführten Fahrten aller TPF-Chauffeure stützt. Mit der grossen Anzahl Daten, die auf diesen Fahrten gesammelt werden, können Modelle guter Fahrweisen anhand verschiedener Kriterien dargestellt werden. Das Verhalten des Fahrers zwischen zwei aufeinanderfolgenden Haltestellen wird mit jenem seiner Kollegen unter ähnlichen Verkehrsbedingungen verglichen. Die Website liefert auch pauschale, anonyme Leistungsindikatoren für die Vorgesetzten der Fahrer. Zur Vervollständigung der am Ende der Fahrt auf den Tablets verfügbaren Informationen erscheinen Daten in Echtzeit auf einem kleinen Bildschirm, der sich auf der Instrumententafel des Fahrzeugs befindet. Der Bildschirm weist zwei farbige Balken auf, die den Chauffeuren Indikatoren zum Fahrkomfort und zur Kraftstoffeinsparung anzeigen. Sie verändern sich laufend anhand der Fahrweise.

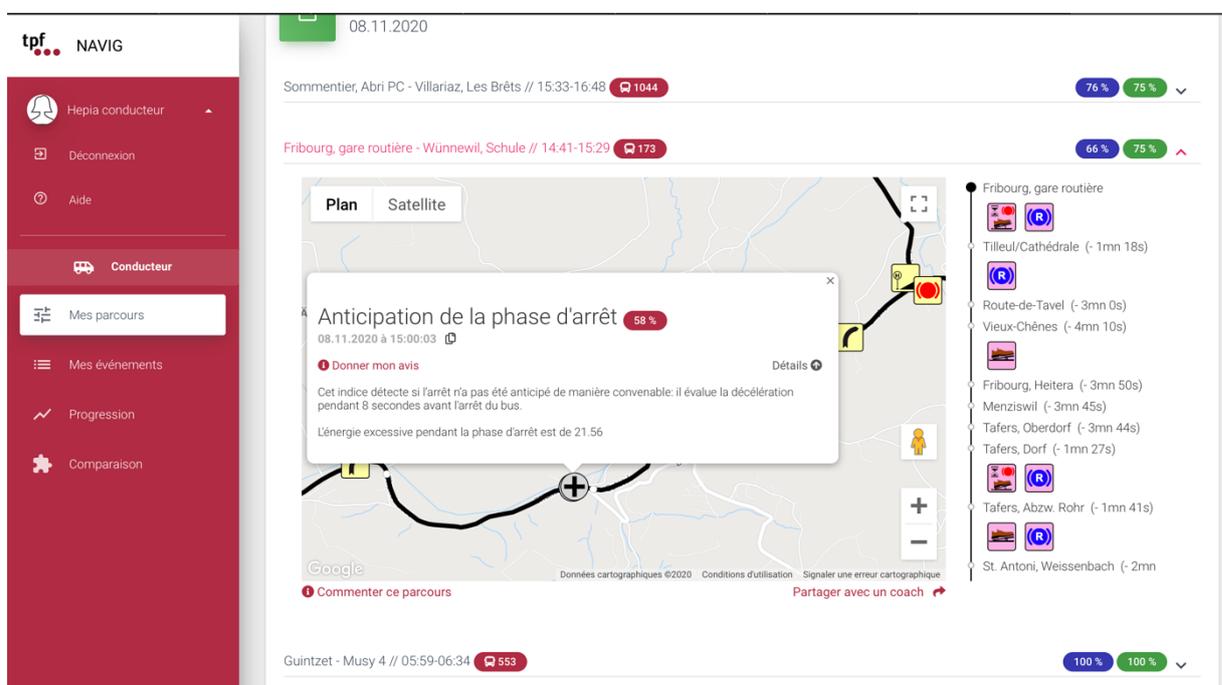


Abbildung 1: Web-Schnittstelle eines Fahrers zur Visualisierung der Fahrten und Ereignisse

Abbildung 2 bildet die Verteilung der Evaluierungen mehrerer Fahrten durch verschiedene Chauffeure ab. Obschon die meisten Fahrer bereits eine gute Evaluierung aufweisen, gibt es auf mehreren Strecken noch erhebliches Verbesserungspotenzial.

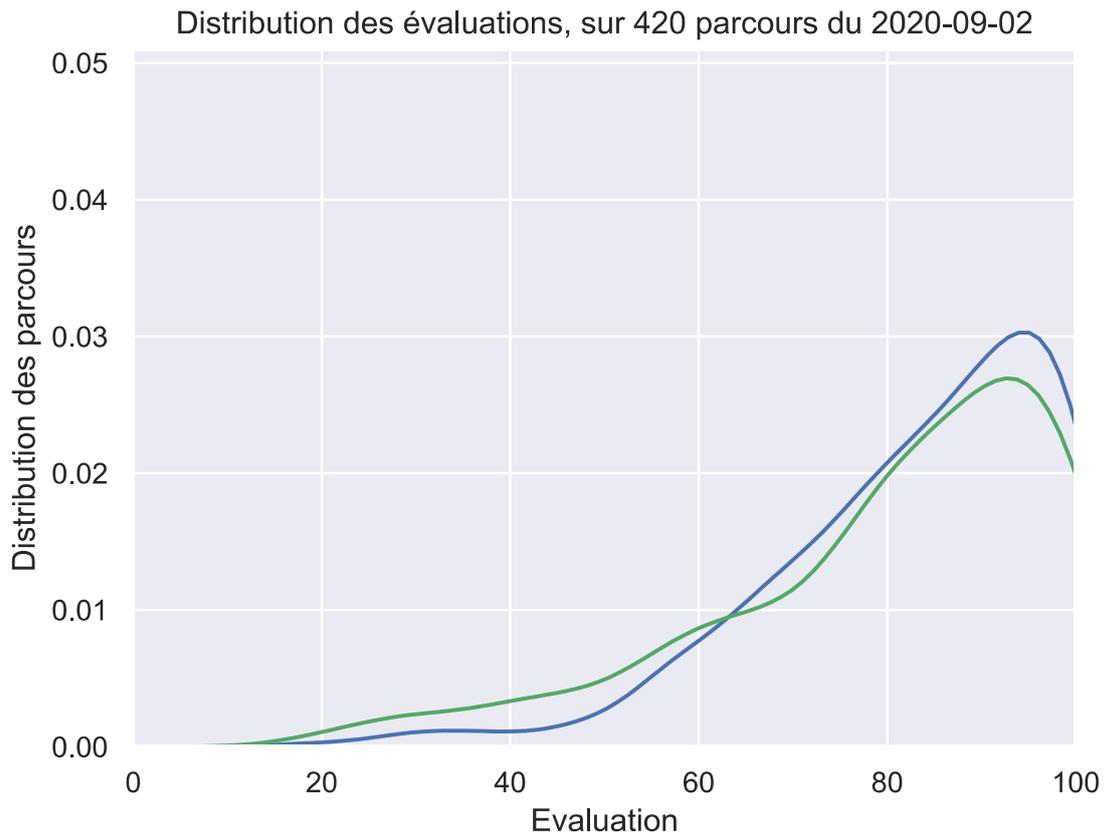


Abbildung 2: Verteilung der Evaluationen: Die blaue Kurve entspricht dem Fahrkomfort, die grüne der Kraftstoffinsparung. Mehr als die Hälfte der Fahrer erreichen eine Evaluierung von über 75 %. Eine gewisse Anzahl Fahrer verfügt noch über erhebliches Verbesserungspotenzial.

Während eines über ein Jahr dauernden und in verschiedene Phasen aufgeteilten Tests prüfte das Projektteam an einem Dutzend Testtagen, ob die vom System wiedergegebenen Daten mit dem Fahrerlebnis an Bord übereinstimmen. Das Fachwissen des TPF-Ausbildungspersonals und einer von Quality Alliance Eco-Drive entsandten Person wurde während der gesamten Test- und Projektdauer eingebracht. Das System wurde vorab auch von ein paar Kaderpersonen des TPF-Fahrerteams und danach vom gesamten Management geprüft. Schliesslich prüften 14 Fahrer das System, 9 davon sind Mitglieder des Schweizerischen Eisenbahn- und Verkehrspersonal-Verbands (SEV).

Alle Fahrer, die das System getestet haben, konnten sich in wenigen Mausklicks auf der zur Verfügung gestellten Website zu jedem erkannten Ereignis äussern. Sie wurden auch dazu aufgefordert, einen umfangreichen Fragebogen auszufüllen. Auf Grundlage der Antworten und Kommentare konnte das System verbessert werden. Abbildung 3 fasst die bei den Tests erhaltenen Antworten zusammen («einverstanden», «nicht einverstanden», «neutral»). Die Fahrer mussten ihre Antworten kurz erläutern. Die Anpassungsphase konnte zu Ende geführt werden und hat zum derzeitigen System geführt, das in 30 Fahrzeugen eingebaut ist und von über 60 TPF-Mitarbeitenden genutzt wird. Es soll für das gesamte Fahrpersonal des Unternehmens in Betrieb genommen werden.

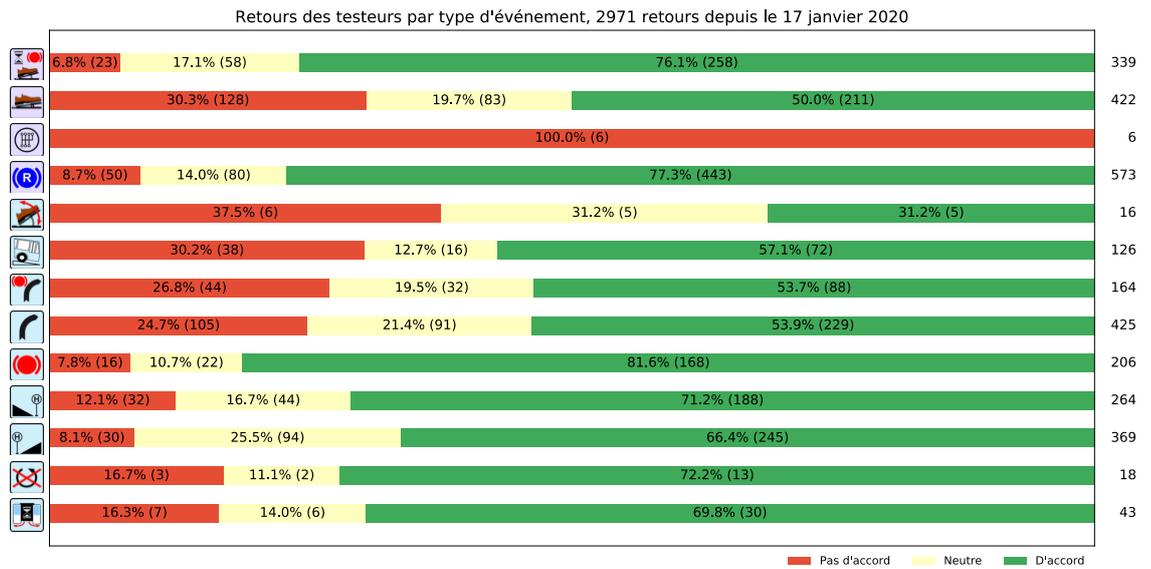


Abbildung 3: Antworten der Beta-Tester in Bezug auf 13 erkannte Ereignisse vom 17. Januar bis 28. Oktober 2020. Die rechts in der Grafik aufgeführten Angaben entsprechen den für die verschiedenen erkannten Ereignisse erhaltenen Antworten.

Alle Chauffeurs haben im Fragebogen angegeben, dass das entwickelte Instrument hilfreich war, um gewisse Fahrereignisse zu verbessern. Wir stellen auch fest (siehe Abbildung 4), dass die Ergebnisse zur Kraftstoffeinsparung der Fahrer, die das Navig-System getestet haben, besser sind als jene der Fahrer ohne Navig, die anonym aufgezeichnet wurden. Auch die Ergebnisse in Bezug auf den Fahrkomfort gehen in die gleiche Richtung: Die Verteilung hat sich für die Nutzer von Navig ebenfalls nach rechts verschoben.

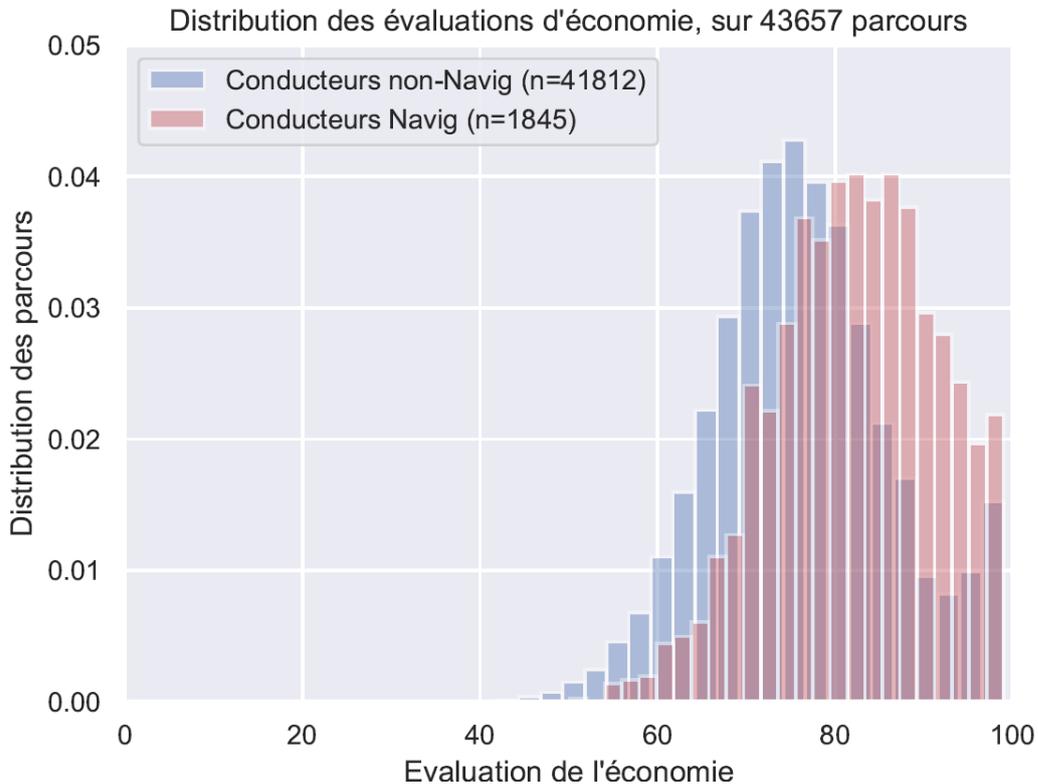


Abbildung 4: Verteilung der Werte zur Kraftstoffeinsparung für 43 657 Fahrten, im Vergleich mit den Ergebnissen der Testfahrer und der Fahrer, die das System noch nicht nutzen.

Um sicherzustellen, dass das für die Bedürfnisse der TPF entwickelte System auch die Anforderungen anderer Verkehrsunternehmen erfüllt und dass es für diese Unternehmen technisch möglich ist, das System anschliessend in ihrer Flotte zu verwenden, wurde im Rahmen der Kooperative Movi+ [5], in welcher die meisten Westschweizer Verkehrsunternehmen vertreten sind, ein Kompetenzzentrum für das Projekt geschaffen. Drei Unternehmen – MBC, TL und TPG – sind dem Kompetenzzentrum Optibus beigetreten, das zu diesem Zweck entwickelt wurde. Im Laufe der verschiedenen Entwicklungsphasen des Systems haben rund zehn Treffen stattgefunden, an denen alle wichtigen Aspekte des Projekts diskutiert wurden. Die wichtigsten Erkenntnisse dieser Gespräche sind in die Entwicklung des Systems eingeflossen. Wir möchten unter anderem die folgenden Elemente erwähnen:

- Es wurde beschlossen, dass die von HEPIA entwickelte Technologielösung so modular wie möglich sein muss, sowohl im Bereich der Hardware wie auch der Software. Die Lösung muss sich so einfach wie möglich an die Systeme jedes einzelnen Verkehrsunternehmens sowie an die neuen Normen von ITxTP anpassen, die derzeit bei zahlreichen Betrieben im öffentlichen Verkehr eingeführt werden.
- Das System soll einfach sein, das heisst, der Fahrer muss keinen zusätzlichen Schritt ausführen, um das System zu aktivieren.
- Die anwesenden Unternehmen schätzten es ebenfalls als wichtig ein, die Grundsätze der Sozialpsychologie zu berücksichtigen, um eine Verhaltensänderung bei den Chauffeuren zu fördern. Mit diesem Ziel wurde vereinbart, dass die Streckenevaluierung der Fahrer vertraulich bleibt und dass nur die Chauffeure Zugang zu ihren eigenen Daten erhalten.
- Die an die Chauffeure weitergeleiteten Informationen müssen einfach verständlich sein, über mehrere Informationsstufen verfügen und das System muss spielerisch sein.
- Der Bildschirm an Bord des Fahrzeugs muss so konzipiert sein, dass er auf Wunsch des Chauffeurs zu einem bestimmten Zeitpunkt aus Gründen der Datenvertraulichkeit abgeschaltet werden kann (z. B. wenn sich ein Kollege oder Vorgesetzter im Fahrzeug befindet).
- Die Informationen auf dem Bildschirm müssen einfach verständlich sein, um den Chauffeur nicht abzulenken.

Summary in English

ICE buses consume a large amount of fuel (on average, 45 litres/100 km for an 18-metre bus on the regional network and 61 litres/100 km for an 18-metre bus on the urban network [TPF figures for 2019]). Every year, TPF's ICE vehicles use 5 million litres of fuel and travel almost 12 million kilometres.

In Switzerland, private and public transport accounts for one third of energy consumption. The Swiss government's 2050 energy strategy (SETP 2050) calls for a 50% reduction in energy consumption in the transport sector. Improvements in energy efficiency are a key part of SETP 2050 [1].

Eco-driving can help meet this goal: "By driving smoothly and anticipating traffic flow, you can make fuel savings of up to 15%," [2] say SuisseEnergie, which has been promoting eco-driving through the Quality Alliance Eco-Drive driving school since 1990. [3] For this reason, eco-driving is now taught as part of the professional driver qualifications in Switzerland. But to undo old driving habits, nothing beats regular practice! And this is why equipping buses with on-board systems that provide drivers with continuous feedback on the quality of their driving makes perfect sense. Drivers can improve the weaker aspects of their driving as they go, with the constant feedback preventing them from falling back into bad habits.

In 2015, TPF looked at the systems available on the market, but none was able to achieve the company's goals. So, TPF looked into the possibility of having an engineering school develop a tailor-made system to meet all its goals. Two preliminary studies commissioned from the School of Engineering and Architecture Fribourg (HEIA-FR) and Geneva School of Engineering, Architecture and Landscape (HEPIA) showed a significant difference in fuel consumption between different driving styles and indicated that it was realistic to expect a fuel saving of around 10% simply from adopting a different driving style [4]. TPF therefore decided to go ahead with the project and in January 2016 applied for funding from the Federal Office of Transport under SETP 205.

The main goal was to develop an innovative on-board system for ICE buses able to evaluate the drivers' driving and provide them with useful information to help them drive in a more environmentally friendly manner. Using the information provided by the system, drivers needed to be able to self-assess and self-correct their driving. The freedom of drivers to make their own decisions about their driving is one of the project's biggest challenges.

The project results are expected not only to reduce environmental impact but also to improve the service quality offered to passengers by increasing journey comfort and safety. Introducing a system of this kind saves fuel and cuts costs associated with replacing certain parts such as brake linings and tyres. These savings can, in turn, be passed on to TPF's partners. The system is designed so that it can be tailored to the specific environments in which different companies operate, enabling any interested Swiss public transport company to use it.

The approach adopted involves designing an on-board solution able to acquire, record and send the relevant data to a remote database. A screen on the bus dashboard will also be developed to give drivers real-time information about their driving. The recorders and screens will be installed on 30 buses. Driver evaluation, along with the detection and geo-localisation of non-eco-driving situations, will be performed by yet-to-be developed mathematical models.

A data access interface will have to be developed to enable drivers and their managers to view geo-localised information about driving and various analysis charts. It is planned that this system will be used by all TPF drivers.

Further objectives include the creation of a business model for making the system available to other interested public transport companies, and an IT management system for the tool (support, system future-proofing and any necessary improvements or developments required at a later stage).

The key results obtained are as follows:

Using their tablet and a dedicated website, the driver of a vehicle fitted with the system receives a confidential analysis of each journey made, informing them which aspects of their driving can be improved. Twelve different driving events can be detected. Each event is displayed on a map along with a percentage value of between 0 and 100. A percentage value rating driving comfort and fuel economy is also given for each journey (see Figure 1). Events detected are split into two categories: one-off events and behavioural events. One-off events are those where drivers have exceeded a threshold. Behavioural events are detected by means of cloud analysis of all driving by all TPF drivers. The vast amount of

data collected on these journeys enables good driving to be modelled using a number of criteria. Driver behaviour is compared to that of colleagues between two consecutive stops under similar driving conditions. The website also provides anonymous overall performance indicators for the drivers' managers. In addition to the information available on the driver's tablet at the end of the journey, real-time information is displayed on a small screen on the vehicle's dashboard. This screen shows two coloured bars that provide the driver with indications of their driving comfort and fuel economy. These coloured bars change as the driver proceeds along their route.

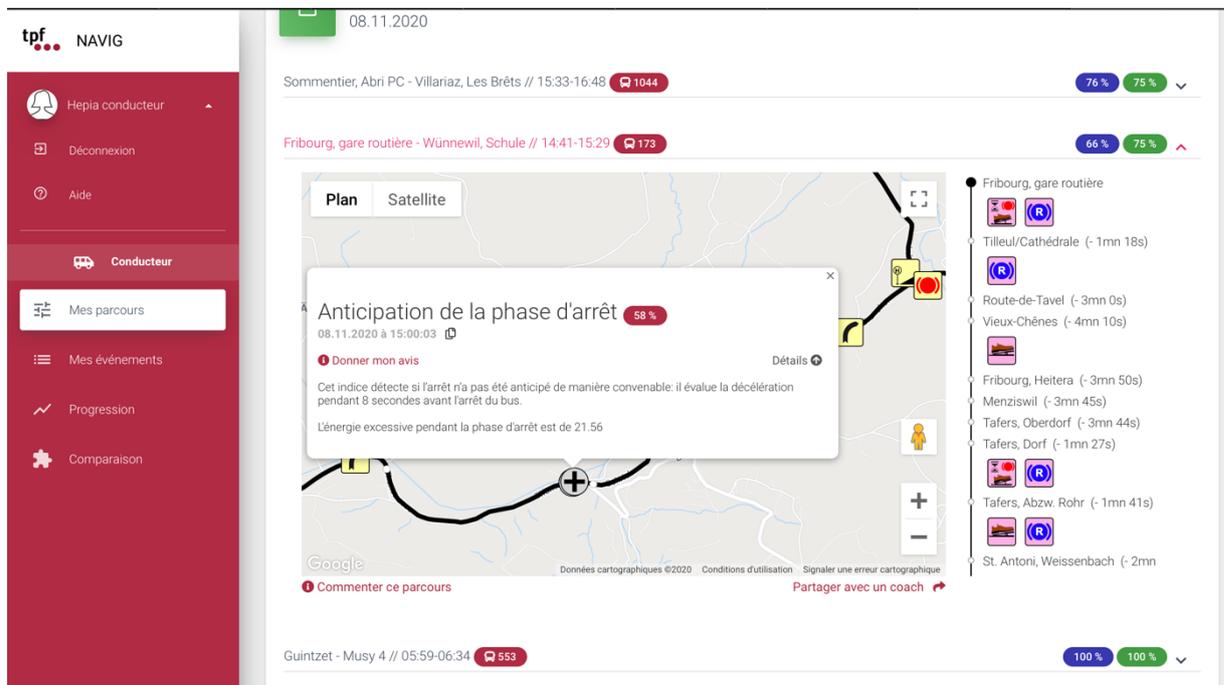


Figure 1: Driver web interface showing journeys and events

Figure 2 shows the distribution of evaluations over several routes driven by different drivers. Although most already have a positive evaluation, several routes still have significant room for improvement.

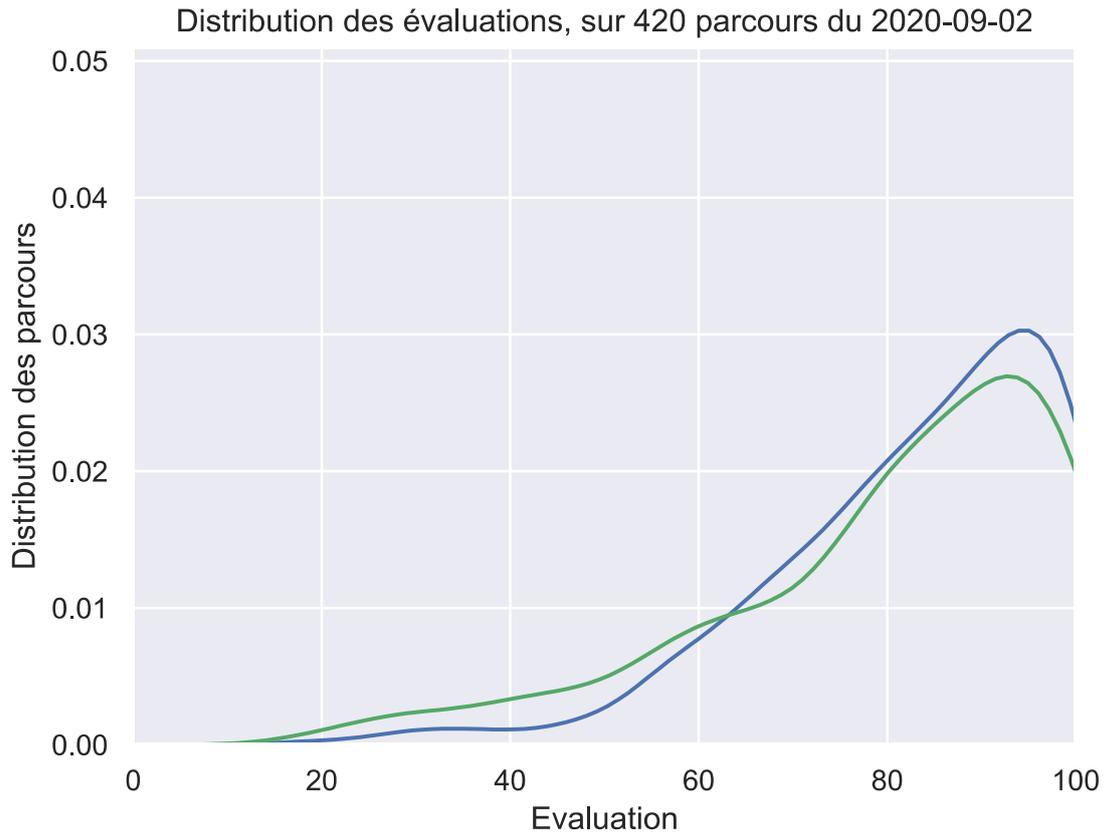


Figure 2: Distribution of evaluations. The blue curve shows driving comfort and the green curve shows fuel economy. More than half of drivers achieve an evaluation above 75%. Some drivers have significant room for improvement.

A multi-phase trial was carried out over a period of more than a year. A dozen test days were conducted by the project team to check that the data fed back by the system matched the on-board experience. The project and tests drew on the expertise of TPF instructors and a staff member seconded from Quality Alliance Eco-Drive. The system was tested first by a small number of managers from the TPF driver management team, then by all driver supervision personnel, and finally by 14 drivers, including nine from the SEV union.

For each event detected, all the test drivers had the opportunity to register their opinion quickly and easily on the dedicated website. They were also asked to complete a comprehensive questionnaire. Improvements were made to the system based on the opinions and comments received. Figure 3 illustrates the opinions ("agree", "disagree" and "neutral") recorded during the tests. Drivers were required to provide explanations in support of their opinions. The system adjustment phase was thus completed, resulting in the system currently fitted to 30 vehicles and used by over 60 TPF employees. The system is now being rolled out to all drivers in the company.

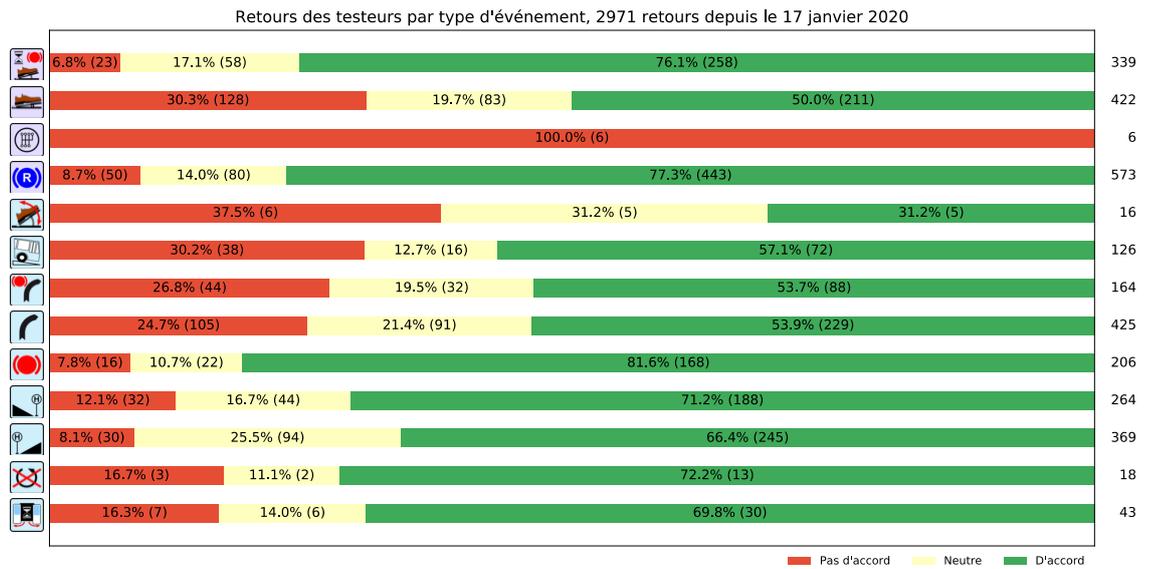


Figure 3: Feedback from the beta testers on the 13 events detected between 17 January and 28 October 2020. The figures on the right of the chart indicate the number of opinions received for the different events detected.

In the questionnaire, all drivers reported that the tool had enabled them to improve certain aspects of their driving. We can also see (in Figure 4) that the fuel economy results for the drivers testing the Navig system were better than those recorded anonymously for drivers not yet using Navig. The driving comfort results are similar, with the distribution bars also further towards the right for Navig users.

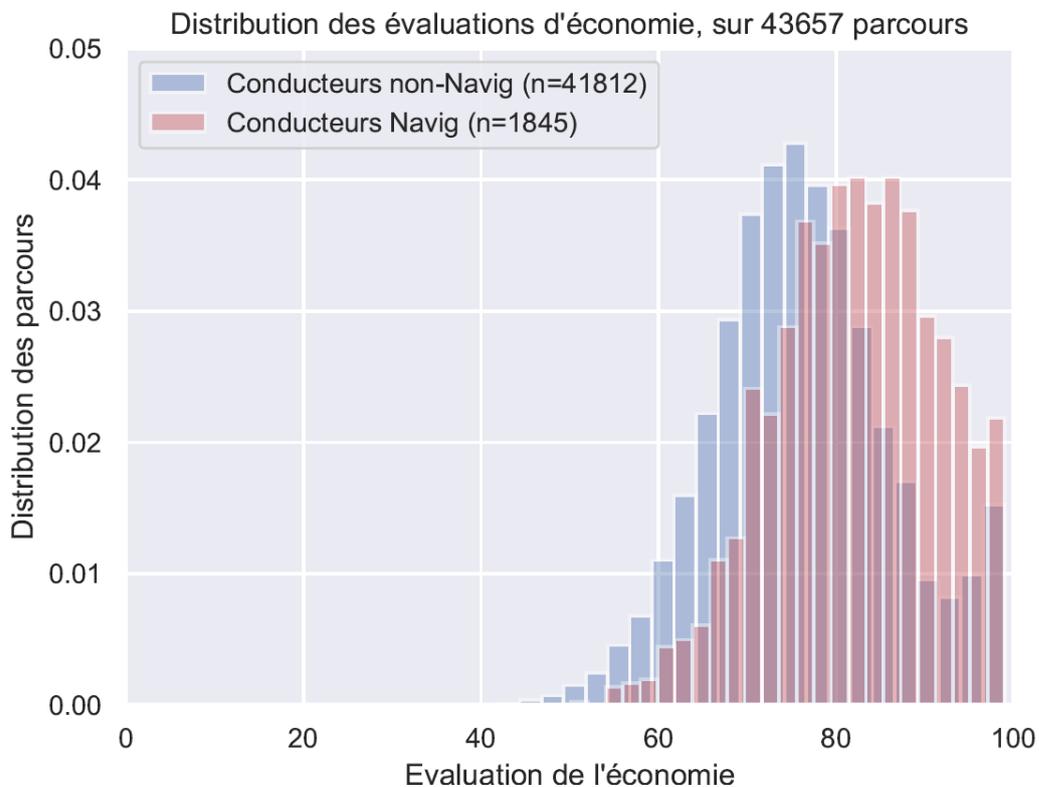


Figure 4: Distribution of fuel economy values for 43,657 journeys, with a comparison between test drivers and drivers not yet using the system.

To ensure that the system developed for TPF also meets the needs of other public transport companies and that it will be technically possible for these companies to use it in their vehicle fleets at a later date, the Optibus competence centre was set up for this project under the auspices of the Movi+ cooperative [5], to which most public transport companies in Western Switzerland belong. Three companies, MBC, TL and TPG, have joined the Optibus competence centre. Some ten meetings were held throughout the system's various development phases to discuss all the key aspects of the project. The main issues discussed in these meetings were taken into account in the system's development. These included the following:

- It was decided that the technological solution developed by HEPIA should be as modular as possible, in terms of both hardware and software. This was to make the solution easier to tailor to the system used by each transport company and to the new ITxTP standard currently being rolled out by many public transport operators.
- There was demand for a simple system that did not require the driver to carry out any additional operations to activate the system.
- The companies present also felt it was necessary to apply the principles of social psychology to encourage a change in driver behaviour. It was therefore decided that journey evaluations would remain confidential and that only the drivers would be able to view their own data.
- The information sent to drivers had to be easy to understand, with several layers of information, and the system had to be fun to use.
- Should they wish, drivers had to be able to turn off the screen on board the vehicle temporarily, for data confidentiality reasons (for example, if a colleague or superior were to board the vehicle).
- The information displayed on the screen had to be kept simple so as not to distract the driver.

1. Situation de départ

Les bus thermiques sont de gros consommateurs de carburant (en moyenne 45 litres/100 km pour les bus 18 m sur le réseau régional et 61 litres/100 km pour un bus de 18 m en milieu urbain (valeurs TPF pour 2019). Les TPF consomment chaque année 5 millions de litres de carburant en parcourant près de 12 millions de kilomètres avec des véhicules thermiques. Le 69% de l'énergie consommée par l'entreprise pour le transport des clients est dévolue aux bus thermiques qui parcourent le 71% du total des kilomètres. Les bus diesel représentent donc un domaine d'activité avec des consommations d'énergie très importante.

L'analyse environnementale réalisée par les TPF en 2020 et prenant en compte les différents domaines d'activité de l'entreprise a d'ailleurs montré que la consommation de diesel pour l'exploitation routière est un domaine d'activité de l'entreprise générant des impacts environnementaux significatifs. Ces impacts concernent la quantité d'énergie consommée, les émissions de CO₂ et aussi les émissions de polluants atmosphériques, tels que les oxydes d'azote et les particules fines.

Réduire la consommation des bus diesel permettrait donc au TPF de réduire plusieurs impacts environnementaux significatifs et de s'aligner sur la stratégie énergétique 2050 établie pour les entreprises de transports publics. En Suisse, le déplacement individuel et collectif génère le tiers des consommations d'énergie. La stratégie énergétique 2050 (SETP 2050) prévoit une diminution de 50% de la consommation énergétique dans le domaine des transports. L'amélioration de l'efficacité énergétique fait partie du programme de mise en œuvre de la Stratégie énergétique 2050 des transports publics (SETP 2050). [1].

L'amélioration de la conduite contribue à l'augmentation de l'efficacité, car elle permet d'économiser du carburant : « Conduire de manière régulière et en anticipant vous permet d'économiser jusqu'à 15% de carburant. [2]. SuisseEnergie promeut, par l'intermédiaire de Quality Alliance Eco-Drive, un mode de conduite écologique, depuis 1990 déjà. [3]. L'éco-conduite fait partie de la thématique proposée lors des cours OACP pour les chauffeurs (Ordonnance sur l'admission des chauffeurs professionnels). Mais rien ne vaut une pratique régulière pour se défaire de ses anciennes habitudes de conduite ! L'ajout d'un système embarqué dans les bus donnant régulièrement au chauffeur des informations concernant la qualité de sa conduite fait sens pour répondre à ce besoin. Le chauffeur peut améliorer à son rythme les aspects perfectibles de sa conduite. La mise à disposition régulière d'informations lui évitant le maintien ou le retour d'anciennes habitudes inadaptées.

En 2015, les TPF se sont intéressés aux systèmes disponibles sur le marché et permettant d'atteindre les objectifs fixés concernant la réduction de consommation de carburant. Mais il s'est avéré qu'aucun des systèmes n'a pu être retenu. Soit leurs performances étaient trop limitées, soit ils étaient développés pour la gestion d'une flotte de camions et offraient des services inutiles pour les bus, soit les coûts de licences étaient trop élevés pour que le système puisse être rentabilisé par les économies de carburant.

Les TPF ont ensuite étudié la possibilité de faire développer par une école d'ingénieur un système sur mesure permettant de couvrir l'ensemble des objectifs fixés. Des études préliminaires ont été confiées à HEIA-FR (Fribourg) et HEPIA (Genève). Ces deux pré-études ont démontré une variation importante de consommation de carburant provenant du style de conduite des conducteurs et qu'il était réaliste de compter sur une réduction de consommation de l'ordre de 10%, uniquement en modifiant le style de conduite [4]. La figure 1 provient de la pré-étude réalisée par l'HEPIA. Elle démontre des différences de consommation importantes, selon les chauffeurs, pour des conduites dans des conditions similaires. L'étude approfondit ces conduites et explique ces différences. Les conclusions ont permis aux TPF de décider d'aller de l'avant avec ce projet de développement et ont demandé le soutien de l'Office fédéral des Transports dans le cadre de la SETP 2050, en janvier 2016.

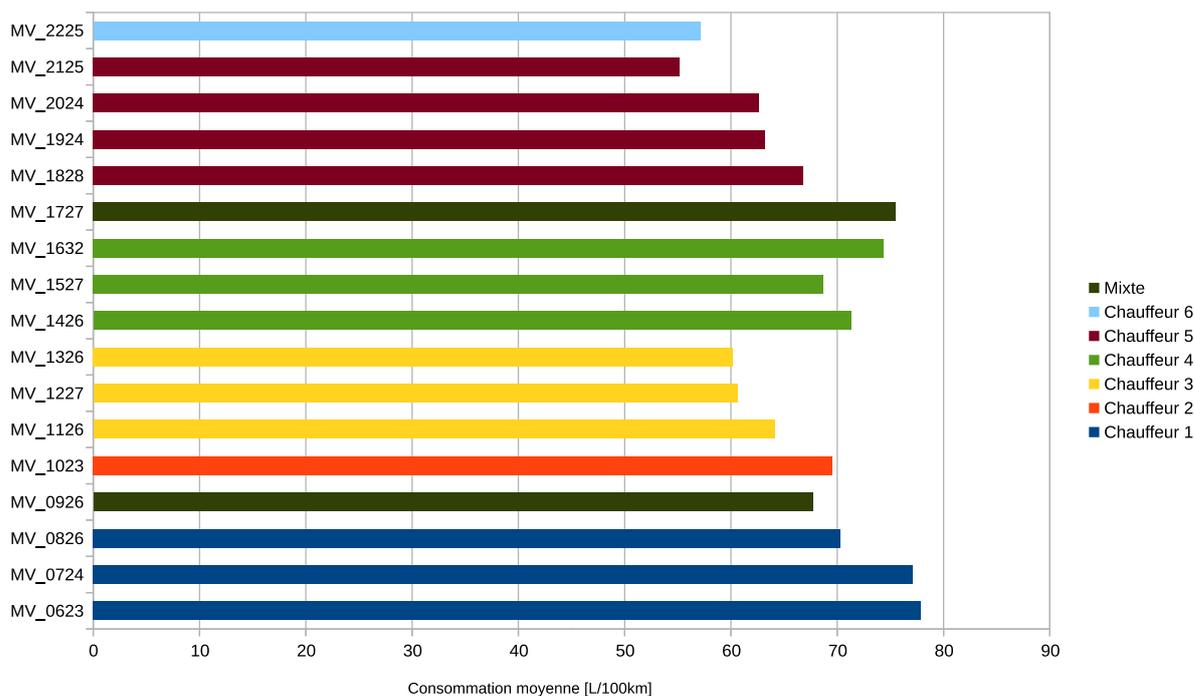


Figure 1: Analyse comparative de la consommation de différents conducteurs. Expérience sur un même parcours durant une même journée et prenant en compte les notions de la charge en passagers, du retard sur l'horaire et des conditions météorologiques.

2. Objectifs du travail

L'objectif principal de ce projet est de développer un système embarqué innovant dans les bus thermiques permettant d'évaluer la conduite des chauffeurs et de leur fournir les informations utiles pour favoriser la pratique d'une conduite écologique, de façon à réduire la consommation de carburant.

Grâce aux informations fournies, les chauffeurs pourront s'auto-évaluer et auto-corriger leur conduite : La libre prise de décisions des chauffeurs concernant leur conduite est un des grands défis de ce projet.

Les résultats attendus ne se limitent pas seulement à la réduction des impacts environnementaux, mais ce travail apportera aussi des bénéfices au niveau de la qualité des prestations offertes aux clients par une augmentation du confort de la conduite et une augmentation de la sécurité.

Au niveau économique, la mise en place d'un tel système induit des économies de carburant se répercutant sur les coûts à la charge des commanditaires, et génère aussi une réduction des coûts de remplacement de certaines pièces, telles que les garnitures de freins et les pneus.

Afin que le système développé puisse être utilisé par l'ensemble des entreprises de transports publics suisses intéressées, sa conception doit être pensée pour faciliter son adaptation aux environnements spécifiques des diverses entreprises.

Le travail de développement comprend aussi l'installation du matériel nécessaire dans une partie de la flotte des TPF et la mise en exploitation auprès de l'ensemble des chauffeurs de l'entreprise.

Finalement, le modèle commercial pour la mise à disposition du système pour les autres entreprises de transports publics intéressées sera aussi développé, ainsi que la méthode de gestion informatique de cet outil (support, pérennisation du système, améliorations et développements ultérieurs nécessaires).

3. Approche adoptée et état des connaissances actuelles

L'approche adoptée vise les éléments suivants :

- La conception d'une solution technique embarquée dans les véhicules permettant d'acquérir les données pertinentes, leur traitement (edge computing), le transfert et l'enregistrement de ces données dans une base de données.

- Un modèle permettant l'analyse des données afin de détecter automatiquement les situations de conduite non-eco-drive, d'évaluer le style de conduite et de donner des informations géo-localisées aux chauffeurs.
- La conception d'un écran d'affichage fixé sur le tableau de bord des bus pour donner aux chauffeurs des informations en temps réel au sujet de leur conduite.
- Une interface web d'accès aux données permettant aux chauffeurs et à leurs responsables d'accéder à des informations géo-localisées concernant la conduite et différents graphiques d'analyse.
- La mise en place d'un boîtier embarqué et d'un écran d'affichage dans 30 bus thermiques et la mise en exploitation auprès de l'ensemble des chauffeurs de l'entreprise.
- Les résultats obtenus durant ce projet ont permis d'ajouter le point suivant, à savoir la valorisation et le développement d'un modèle commercial permettant l'acquisition du système par les autres entreprises de transports publics suisses intéressées.

4. Résultats

Les chauffeurs reçoivent de manière confidentielle sur leur tablette, grâce à un site web, l'analyse de chaque parcours effectué avec un véhicule équipé du système, afin de savoir quels éléments de leur conduite peuvent être améliorés. 12 événements de conduite différents peuvent être détectés (12 sont actuellement fonctionnels et d'autres pourraient être rajoutés par la suite). Chacun de ces événements est affiché sur une carte, avec une valeur exprimée en pourcent, entre 0 et 100. Une valeur qualifiant le confort de la conduite et l'économie de carburant est aussi indiquée pour chaque parcours (aussi exprimée entre 0 et 100%). Ces événements détectés sont répartis en deux catégories : les événements de type ponctuel et ceux de type comportemental. Les événements de type ponctuel informent du dépassement d'un seuil. Les événements de type comportemental sont issus d'une analyse dans un Cloud de toutes les conduites réalisées par l'ensemble des conducteurs des TPF. Le grand nombre de données acquises sur ces trajets permet de modéliser les bonnes conduites en fonction de plusieurs critères. Le comportement du conducteur est comparé à celui de ses collègues entre deux arrêts consécutifs, dans des conditions de transport similaires. Le site web fournit aussi des indicateurs de performance globale anonymes pour le personnel d'encadrement des chauffeurs. Afin de compléter les informations disponibles sur les tablette à la fin du parcours, des informations en temps réel s'affichent sur un petit écran sur le tableau de bord du véhicule. Cet écran comporte deux barres de couleur donnant des indications aux chauffeurs au sujet du confort de la conduite et de l'économie de carburant. Elles s'ajustent au fur et à mesure de la conduite.

Un test sur plus d'une année, en plusieurs phases, a été réalisé : Une douzaine de journées de test ont été effectuées par l'équipe du projet afin de vérifier que les données remontées par le système correspondent au ressenti à bord du véhicule. L'expertise de formateurs TPF, d'une personne détachée de Quality Alliance Eco-Drive et de psychologues provenant d'un bureau de conseils actif dans le domaine du changement de comportement ont été apportée tout au long du projet et des tests. Le système a aussi été testé d'abord par quelques cadres de l'équipe de conduite des TPF, ensuite par l'ensemble du personnel de l'encadrement et finalement par 14 chauffeurs, dont 9 issus du Syndicat du personnel des transports (SEV)). La phase d'ajustement du système a été finalisée et permet ainsi d'aboutir au système actuellement en place sur 30 véhicules et utilisés par plus de 60 collaborateurs TPF. La mise en exploitation se poursuit auprès de l'ensemble des conducteurs de l'entreprise.

Voici ci-dessous les résultats provenant du partage de connaissances avec les autres entreprises de transports publics afin de favoriser l'utilisation du système développé et donc permettre d'améliorer l'efficacité énergétique à plus grande échelle :

Afin de s'assurer que le système développé selon les besoins des TPF corresponde aussi aux besoins des autres entreprises de transports publics et qu'il soit techniquement possible que ces entreprises l'utilisent par la suite dans leur flotte de véhicules, un centre de compétences a été créé pour ce projet dans le cadre de la coopérative Movi+ [5], à laquelle la plupart des entreprises de transports publics suisses romandes participent. Trois entreprises, MBC, TL et TPG ont rejoint le centre de compétences Optibus développé dans cet objectif. Une dizaine de rencontres ont eu lieu tout au long des différentes phases de développement du système. Les discussions ont porté entre autres sur les aspects suivants du projet :

- équipements techniques de bord dans les véhicules des différentes sociétés et leur architecture, solutions de communications entre les véhicules et les centres d'exploitation, possibilités logicielles de récupérer les différentes informations nécessaires dans les véhicules (informations de comptage, informations de localisation GPS, identification des chauffeurs, information de retard, identification des arrêts, liaison internet)
- architecture possible pour le système à développer
- informations à transmettre aux chauffeurs quant à l'analyse de leur conduite, en temps réel et après leur parcours
- informations à transmettre à l'encadrement des chauffeurs, aux formateurs, à la direction au sujet des analyses de conduite
- organisation de l'encadrement des chauffeurs dans les différentes entreprises
- paramètres de conduite à prendre en compte pour construire le modèle de détection et d'analyse de la conduite
- comment et sous quelles formes les informations doivent-elles être transmises aux chauffeurs pour qu'elles soient bien acceptées par les chauffeurs, qu'elles ne créent pas de résistance et les motivent à modifier leur façon de conduire
- proposition de maquette pour l'interface développée pour les chauffeurs
- proposition d'écran d'affichage dans les véhicules pour l'information en temps réel
- dénominations et descriptifs des événements de conduite détectés par le système pour évaluer la qualité de la conduite
- adaptations possibles pour les entreprises de transports publics
- développements matériels et installations effectuées
- suivi des tests du système et calibration

Les échanges avec des cadres, formateurs et chauffeurs impliqués dans le suivi du développement du système et représentant les entreprises membres du centre de compétence Optibus ont été fructueux. Le développement de Navig a pu prendre en considération l'essentiel des éléments évoqués lors de ces rencontres. Nous pouvons entre autres mentionner les éléments suivants :

- Il a été décidé que la solution technologique développée par HEPIA devait être la plus modulaire possible, tant au niveau du matériel que du logiciel. Cette solution doit permettre de s'adapter le plus facilement aux systèmes de chaque société de transport.
- Les entreprises présentes ont aussi estimé qu'il était nécessaire d'appliquer les principes de la psychologie sociale afin de favoriser le changement de comportement des chauffeurs. Dans ce but, il a été décidé que les évaluations des parcours des chauffeurs resteraient confidentielles et que seuls les chauffeurs recevraient leurs propres données.
- Les informations transmises aux chauffeurs doivent être facilement compréhensibles, avec plusieurs niveaux d'informations et le système doit être ludique.
- L'écran à bord du véhicule doit pouvoir être éteint si le chauffeur le souhaite momentanément, pour des raisons de respect de la confidentialité des données (par exemple si un collègue ou un supérieur monte à bord du véhicule).
- Une simplicité des informations sur l'écran est nécessaire, afin de ne pas distraire le chauffeur.

Le résultat du projet va être industrialisé et exploité dans une entité avec des partenaires des transports publics. Un modèle de commercialisation est en cours d'élaboration. La société sera créée avec l'accord de Movi+.

5. Discussion

Les 13 indicateurs permettant la détection des situations de conduite non eco-drive ont été testés lors de plusieurs phases de tests (une douzaine de journées de tests réalisés par l'équipe du projet et en parallèle, des tests par les cadres de l'équipe de conduite des TPF et aussi par 14 chauffeurs). Les indicateurs retenus ont aussi bénéficié d'une analyse mathématique issue de l'accumulation de nombreuses conduites réalisées de façon anonyme par l'ensemble des conducteurs des TPF. L'exemple de la figure 2 suivante montre les résultats de l'indicateur « Anticipation de la phase d'arrêt ». Chaque conducteur anticipe plus ou moins la phase de décélération précédant un arrêt de bus (pour laisser monter ou descendre les passagers). Le confort ressenti par les passagers va donc dépendre de l'an-

icipation avec laquelle le chauffeur appréhende l'arrêt. La figure 2 présente la distribution de ces décélérations sur tous les arrêts du réseau TPF durant toute la phase de tests. Le pic sur le graphique peut être assimilé à des arrêts confortablement effectués. Les cas sur la droite indiquent des anticipations d'arrêt moins bonnes. Lors des essais, nous avons pu définir le seuil au-delà duquel nous indiquons au conducteur que son arrêt n'est pas correctement anticipé. Un post-traitement permet aussi de corriger l'indicateur en fonction du comportement des collègues à un arrêt donné. Ceci permet ainsi de n'indiquer au conducteur que des événements pour lesquels il y a réellement un potentiel d'amélioration. La figure 3 montre sur la partie gauche les résultats provenant de phases d'arrêt bien anticipées et sur la droite des phases arrêts avec de fortes décélérations, par exemple de 3.5 m/s^2 (exemple provenant d'une conduite sur le réseau urbain).

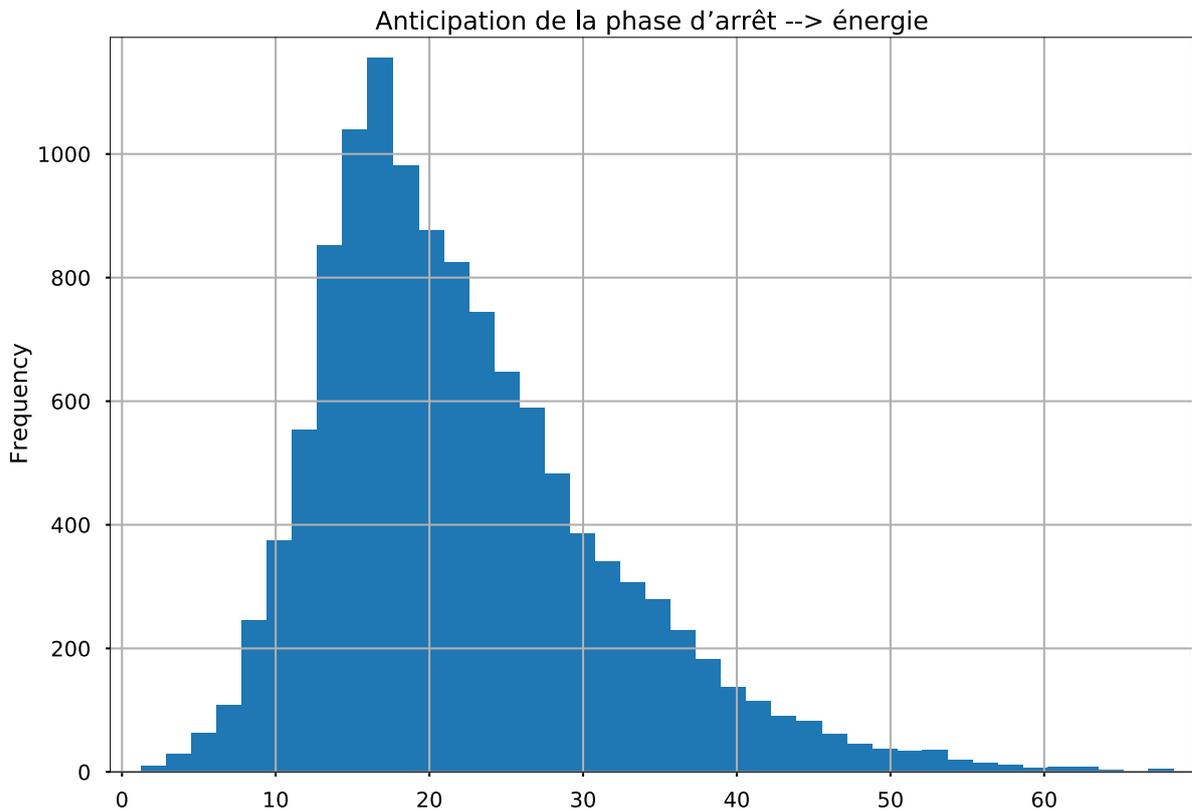


Figure 2: Distribution de l'énergie de décélération lors de la phase d'arrêt.

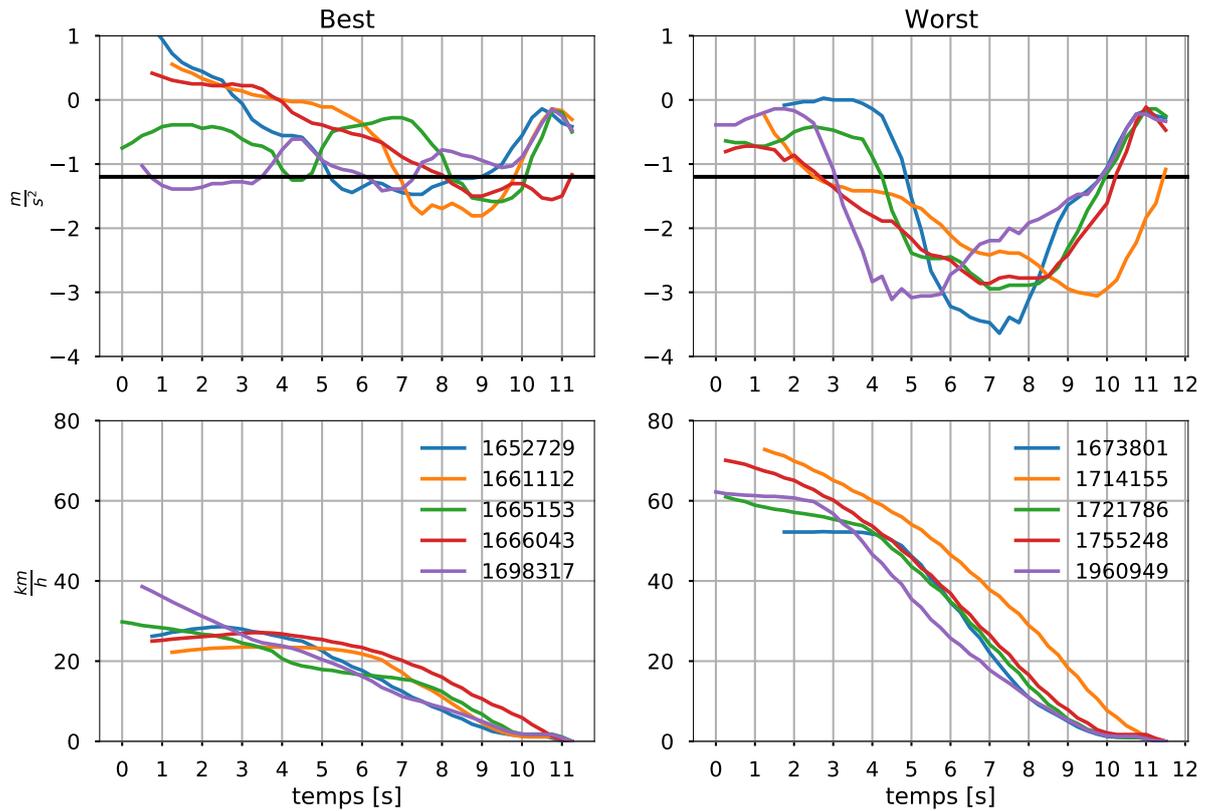


Figure 3: Comparaison de bonnes conduites (graphique de gauche) et des conduites inconfortables (graphique de droite) durant les phases d'arrêt.

Durant tout le projet, les indicateurs ont été modélisés mathématiquement, testés sur le terrain, mais aussi validés par des simulations provenant de toutes les données enregistrées dans les bases de données pendant toute la période de test. Ceci a permis de modifier les indicateurs et ainsi de valider leur bon fonctionnement avant de les déployer sur le terrain.

Chaque parcours est analysé et deux indicateurs globaux, exprimés entre 0 et 100%, qualifient le confort de la conduite et l'économie de carburant. La figure 4 montre une distribution des évaluations sur plusieurs parcours réalisés par des conducteurs différents. Bien que la majorité des conducteurs dispose déjà d'une évaluation bonne, il existe encore un potentiel d'amélioration important pour plusieurs parcours.

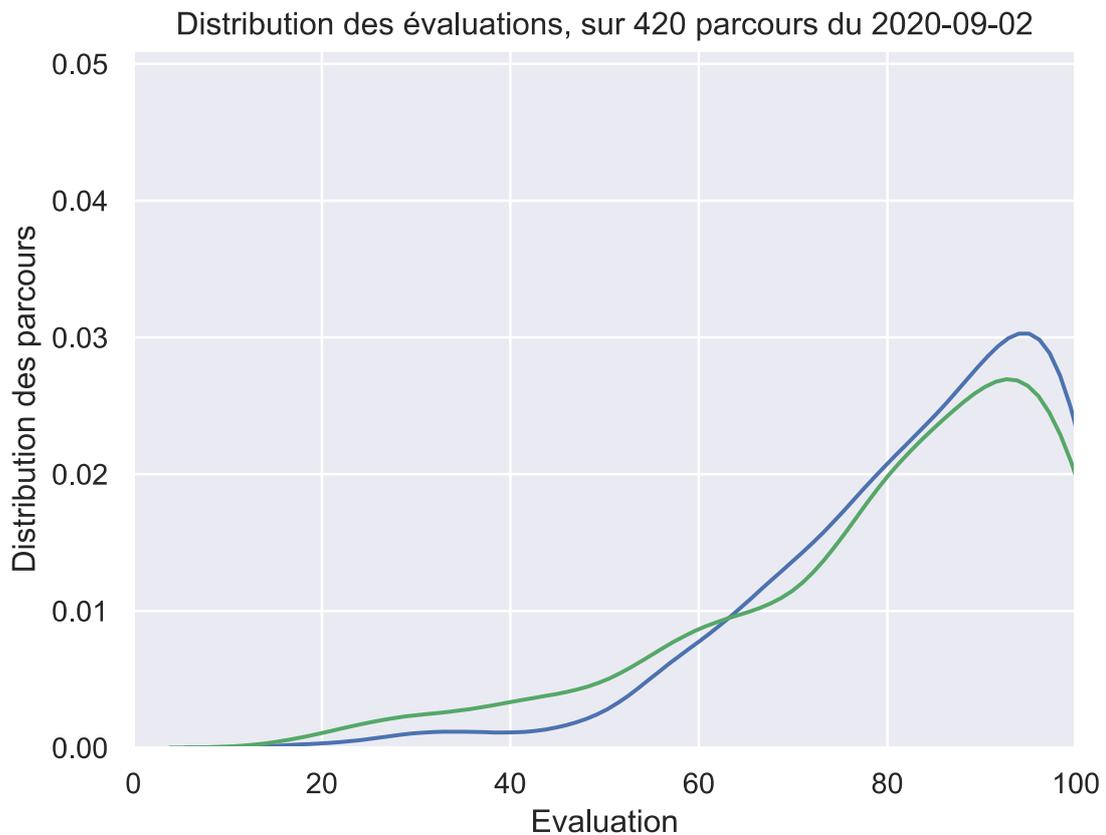


Figure 4: Distribution des évaluations. La courbe bleue représente le confort de la conduite, celle en vert, l'économie de carburant. Plus de la moitié des conducteurs obtiennent une évaluation supérieure à 75%. Un certain nombre de conducteur dispose d'un potentiel d'amélioration important.

Durant les différentes phases de test, les chauffeurs-testeurs ont évalué la qualité des événements détectés : Ils ont eu la possibilité de donner leur avis sur chaque événement détecté, en quelques clics sur le site web à disposition. La figure 5 rassemble les avis (« d'accord », « pas d'accord », « neutre ») reçus lors de ces tests. Les chauffeurs ont aussi dû donner quelques explications justifiant leurs avis. Un questionnaire complet leur a aussi été remis. Le système a pu être amélioré, sur la base de tous ces avis et commentaires.

Ces retours montrent que l'indicateur « Utilisation des rapports » (3^{ème} ligne sur la figure 5) pose problème, puisque tous les avis sont négatifs. Il a été retiré provisoirement des informations transmises aux chauffeurs. Il sera optimisé et réintroduit ultérieurement.

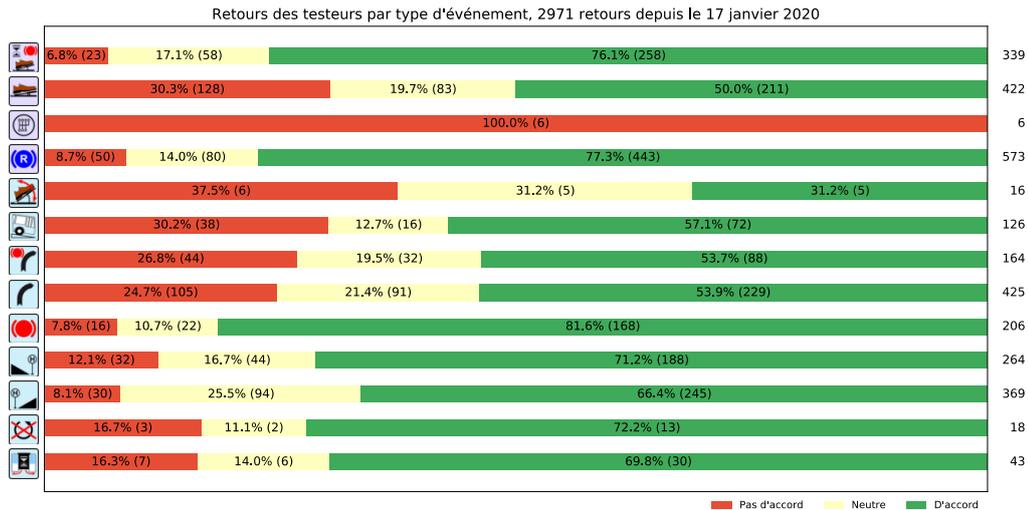


Figure 5: Retours des bêta-testeurs concernant les 13 évènements détectés, du 17 janvier au 28 octobre 2020. Les indications figurant à droite du graphique indiquent le nombre d'avis reçus pour les différentes détections.

Grâce à tous ces tests, des améliorations ont été effectuées. Les indicateurs actuellement en place donnent satisfaction, comme le montrent les avis reçus depuis la dernière optimisation des détections : voir figure 6 ci-dessous. (Nous n'avons pas pris en considération les avis reçus concernant l'accélération en descente (5^{ème} ligne) et l'ouverture des portes (dernière ligne), car il s'agit seulement de deux, respectivement un avis, et avons reçu précédemment une majorité d'avis positifs).

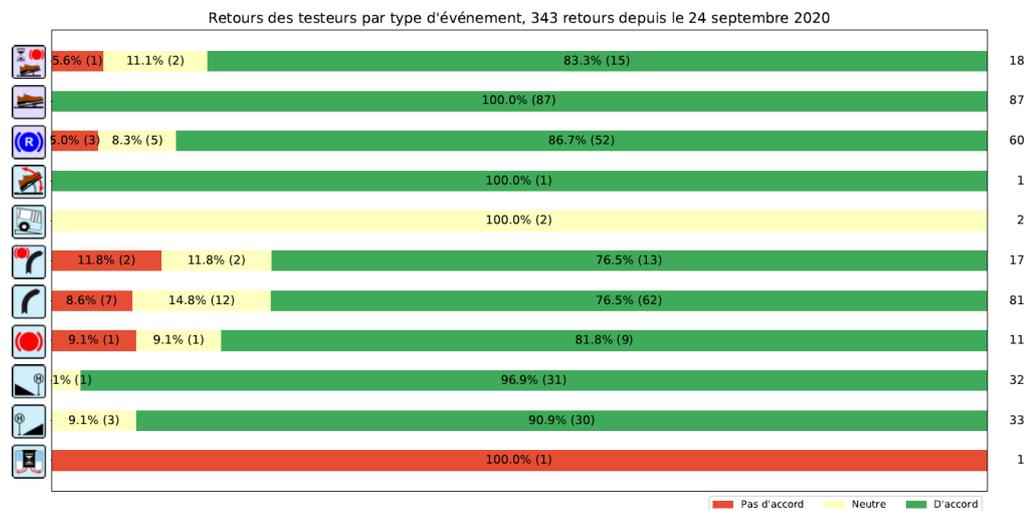


Figure 6: Retours des bêta-testeurs concernant les 12 évènements détectés, du 24 septembre au 28 octobre 2020. Les indications figurant à droite du graphique indiquent le nombre d'avis reçus pour les différentes détections.

Tous les chauffeurs ont noté sur le questionnaire remis que l'outil développé leur avait permis d'améliorer certains éléments de leur conduite. Nous constatons aussi que les résultats des conducteurs testant ce système Navig sont meilleurs que ceux enregistrés anonymement pour des conducteurs n'utilisant pas encore Navig : la figure 7 représente ces résultats pour l'économie de carburant. Les résultats concernant le confort de la conduite vont dans le même sens : Les distributions sont aussi déplacées vers la droite pour les utilisateurs de Navig.

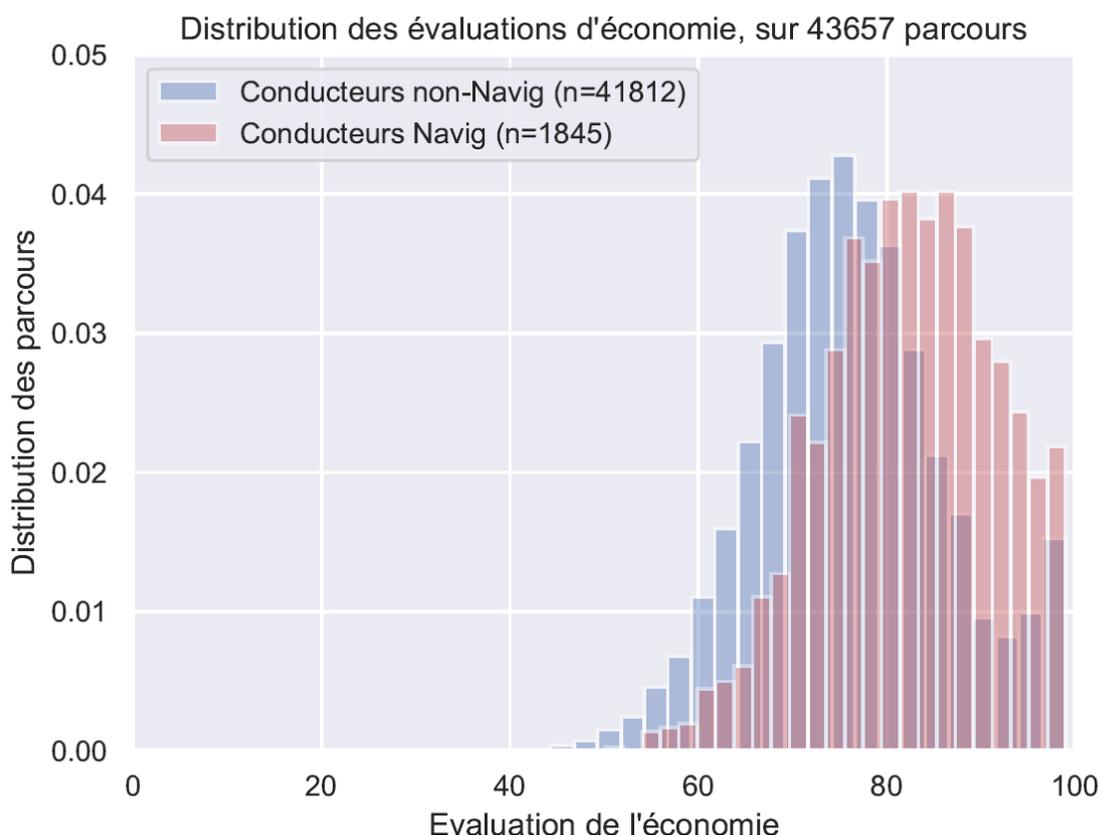


Figure 7 : Distribution des valeurs pour l'économie de carburant pour 43657 parcours, avec comparaison des résultats des chauffeurs-testeurs et des chauffeurs n'utilisant pas encore le système.

Grâce à tous ces tests, le système a ainsi été optimisé et la mise en exploitation se poursuit auprès de toutes les conductrices et tous les conducteurs des TPF.

6. Conclusions et recommandations

Au cours du développement du système, plusieurs idées ont déjà surgi concernant des développements et des améliorations qui pourraient être réalisées par la suite :

- Navig pourrait être utilisé pour la formation de base des chauffeurs de bus professionnels au sein des entreprises de transports publics. Pour que Navig puisse être utilisé dans cet objectif par les TPF des développements doivent être réalisés pour permettre l'obtention de données pour des courses qui ne sont pas planifiées par le système de planification et aussi pour permettre l'identification du chauffeur à bord.
- La comparaison des données des chauffeurs par ligne pourrait peut-être s'avérer intéressante.
- Actuellement, l'écran graphique présent sur le tableau de bord donne des informations concernant le confort et l'économie de carburant. Par la suite, il pourrait aussi afficher les icônes des événements détectés et leur valeur, au moment où ces détections surviennent.
- Certaines données enregistrées afin d'analyser la conduite pourraient être utilisées par la suite pour améliorer d'autres aspects de l'efficacité énergétique. Il serait par exemple possible d'utiliser les données de température à l'intérieur du véhicule pour voir si des économies sont envisageables quant à l'utilisation du chauffage et de la climatisation.
- D'autres détections pourraient être rajoutées à celles actuellement en fonction dans la version de Navig mise en exploitation :
 - Il semble utile d'informer le chauffeur concernant l'utilisation de la boîte à vitesse, car l'utilisation des vitesses plus basses génère des surconsommations. Par contre, il est difficile de créer un algorithme permettant de rendre compte

du bon usage de la boîte à vitesses et celui qui avait été choisi n'était pas pertinent, comme expliqué au point 5. Des analyses ont été effectuées et il semblerait possible de prendre en compte le nombre de tours minutes effectuées par le moteur sur une période donnée (car plus ce nombre est élevé, plus la vitesse engagée est petite et plus la consommation est importante).

- Un indicateur « manque d'anticipation » pourrait être rajouté ultérieurement. Il informerait le chauffeur si la conduite n'est pas suffisamment anticipée, par exemple, s'il maintient la pédale des gaz pressée, mais pourrait la relâcher plus tôt et profiter de l'inertie du véhicule.
- Des nouvelles fonctionnalités sont aussi imaginées sur le site web par exemple des statistiques influençant le changement du comportement. Sur la page d'accueil, il est envisagé de donner des informations statistiques diverses afin d'offrir un contenu qui se renouvelle et attire l'attention des chauffeurs : Ces informations pourraient par exemple traiter du confort d'une ligne, de l'évolution de la consommation de carburant au cours d'une année, d'indications détaillées au sujet de la réduction d'inconfort à arrêt, etc.
- Le modèle Navig semble également pouvoir être utile dans le domaine des trolleybus et des tramways. Des contacts avec des opérateurs de véhicules de type TOSA ont également montré un potentiel pour ces technologies.

Liste des symboles et abréviations

CZV	Chauffeurzulassungsverordnung
FIS	Fahrgastinformationssystem
GPS	Global Positioning System
HEIA-FR	Haute école d'Ingénierie et d'Architecture de Fribourg
HEPIA	Haute école du Paysage, d'Ingénierie et d'Architecture de Genève
ITxTP	Information Technology for Public Transport
ICE	Internal combustion engine
MBC	Transports de la Région Morges Bière Cossonay
Navig	Nom donné au système développé
PIS	Passenger information system
SEV	Syndicat du personnel des transports
SAEIV	Système d'aide à l'exploitation et à l'information voyageurs
TL	Transports publics lausannois
TOSA	Trolleybus Optimisation Système Alimentation
TPF	Transports publics fribourgeois Trafic (TPF TRAFIC) SA
TPG	Transports publics genevois

Références

- [1] Stratégie énergétique 2050 de l'Office fédéral des transports OFT : <https://www.bav.admin.ch/bav/fr/home/themes-a-z/environnement/setp2050/programme.html>, 16.09.20
- [2] Conduire efficacement : se déplacer de manière sûre et économe : <https://www.suisseenergie.ch/page/fr-ch/conduire-efficacement>, 16.09.20
- [3] Les règles principales d'EcoDrive pour les véhicules lourds : <https://www.ecodrive.ch/fr/tips/lkw/>, 16.09.20
- [4] Rapport Ecoconduite TPF – Analyse de la consommation, <https://goo.gl/dLE6Xh>, 16.09.20
- [5] Qui sommes-nous ? Coopérative de mutualisation des entreprises de transport public MOVplus, <https://www.movi-plus.ch>, 16.09.20

Annexes

Rapport technique du 13.11.2020 (confidentiel)

Les travaux réalisés sont détaillés dans le rapport en annexe : « OptiBus : 084 Développement d'un système embarqué dans les bus pour favoriser une conduite écologique. Version du 13 novembre 2020 ». Ce rapport à l'intention de l'OFT est confidentiel.