



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)

STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE ET SANTÉ (SENS)

Rapport final

Viviane Remy

Unisanté, Département Santé au Travail et Environnement (DSTE)

Biopôle, route de la Corniche 2

1066 Epalinges-Lausanne

viviane.remy@unisante.ch

<https://www.unisante.ch/fr>

Prof. Guseva Canu Irina

Unisanté, Département Santé au Travail et Environnement (DSTE)

Biopôle, route de la Corniche 2

1066 Epalinges-Lausanne

irina.guseva-canu@unisante.ch

<https://www.unisante.ch/fr>

Groupe d'accompagnement

Prof. David Vernez, Unisanté, Département Santé au Travail et Environnement
M. Baptiste Antoine, Unisanté, Département Santé au Travail et Environnement
Mme. Claire Baudouin, Unisanté, Département Santé au Travail et Environnement
M. Deyan Poffet, Unisanté, Département Santé au Travail et Environnement
Mme. Laurie Dorange-Pattoret, Unisanté, Département Santé au Travail et Environnement
M. Thomas Charreau, Unisanté, Département Santé au Travail et Environnement
M. André Farine, Unisanté, Département Santé au Travail et Environnement
M. Christian Fankhauser, Syndicat du personnel des transport (SEV)
M. Yves Sancey, Syndicat du personnel des transport (SEV)
M. Manuel Wyss, Syndicat des médias et de la communication (Syndicom)
M. Micha Amstad, Syndicat des services publics (SSP)
Mme Véronique Robatel, Transports publics fribourgeois (tpf)
Mme Catherine Krebs, Transports publics fribourgeois (tpf)
M. Kilian Constantin, Union des transports publics (UTP)

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: N°219

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 18.12.2023]

Contenu

Executive Summary en allemand.....	5
Executive Summary dans une seconde langue nationale	5
Executive Summary en anglais	5
Résumé en allemand	7
Résumé en français	13
1. Situation de départ	19
2. Objectifs du travail	19
3. Approche adoptée et état des connaissances actuelles	20
3.1. Partie I : Étude transversale répétée.....	20
3.1.1. Le questionnaire	20
3.1.2. Analyse statistique.....	21
3.2. Partie II : Inventaire des bus suisses.....	21
3.3. Campagne de mesures et analyse des données	22
3.2.1. Contraste	23
3.2.2. Taux de renouvellement de l'air	24
3.2.3. Bruit.....	24
3.2.4. Pollution aux particules PM ₁₀	24
3.2.5. Pollution aux particules ultrafines (PUF)	24
3.2.6. Champs électromagnétiques	24
3.2.7. Vibrations du corps entier	25
3.2.8. Conception de la cabine des conducteur-trices d'autobus	25
3.2.9. Analyse statistique	26
3.4. Matrice Bus - expositions	26
4. Résultats.....	26
4.1. Étude transversale répétée	26
4.1.1. Les participant-es	26
4.1.2. Problèmes de santé, arrêt-maladie, accident et aptitude à la conduite	28
4.1.3. Les conditions de travail	31
4.1.4. Participation à une future enquête.....	34
4.2. Inventaire des bus	34
4.3. Campagne de mesure	39
4.3.1. Score d'ergonomie du poste de conduite.....	39
4.3.2. Exposition aux nuisances, ratio de particules et taux de renouvellement de l'air	42
4.4. Matrice bus - expositions.....	46
5. Discussion	51
5.1. Étude transversale répétée.....	51
5.2. Inventaire de bus	52
5.3. Campagnes de mesure	52
5.4. Matrice bus-exposition	54
5.5. suites du projet et Perspectives	55
6. Conclusions et recommandations	55
Liste des symboles et abréviations	56
Références	56
Annexes.....	60
A.1. Questionnaire fait conjointement avec les syndicats sur la santé et les conditions de travail des conducteur-trices de bus	60
A.2. GAD des caractéristiques technologiques des véhicules, des expositions aux nuisances et des scores de design de poste de conduite	65
A.2.1. Vibrations.....	65
A.2.2. Bruit	66
A.2.3. Champs électromagnétiques	67
A.2.4. Taux de renouvellement de l'air	68
A.2.5. Pollution particulaire (PM ₁₀ et PUF)	69
A.2.6. Score de design du poste de conduite.....	70

Liste des tableaux

Tableau 1. Choix des agents physiques et paramètres ergonomiques avec précision de l'appareil de mesure utilisé et du type de simulation	23
Tableau 2. Éléments pris en compte dans l'évaluation du poste de conduite des conducteur-trices de bus	25
Tableau 3. Informations sociodémographiques des participant-es aux enquêtes 2010, 2018 et 2022 ..	27
Tableau 4. Evolution des problèmes de santé, arrêt-maladie, accident et aptitude à la conduite, comparaison entre 2010-2018, 2010-2022 et 2018-2022.....	30
Tableau 5. Evolution des conditions de travail ajustées pour l'âge, le sexe, l'ancienneté et la région, comparaison entre 2010 -2018, 2010- 2022, et 2018 -2022.....	33
Tableau 6. Composition de l'inventaire de bus en Suisse selon le type de motorisation (ligne) et le gabarit du bus (colonne).....	35
Tableau 7. Tableau récapitulatif des caractéristiques des bus-types choisis pour les campagnes de mesures	38
Tableau 8. Caractéristiques et répartition des classes latentes pour les véhicules solo-midi.	39
Tableau 9. Régressions linéaires afin de déterminer l'association entre la variation des scores de design de poste de conduite et le type de motorisation. Le modèle multivarié permet de prendre en compte l'année de mise en circulation.	41
Tableau 10. Niveaux d'exposition mesurés pour les modèles types sélectionnés	44
Tableau 11. Régressions linéaires afin de déterminer l'association entre les expositions aux nuisances, le ratio de particules et le taux d'échange de l'air et le type de motorisation. Le modèle multivarié prend en compte l'année de mise en circulation.	45
Tableau 12. Composition de la flotte de bus suisse de 1970 à 2035. Trois scénarios sont imaginés pour la période 2030-2035, ils sont basés sur Rapport du Conseil fédéral	46

Table des illustrations

Figure 1. Evolution des scores de design de poste de conduite entre 1970 et 2025. Chaque score est défini en fonction de la zone du corps impactée. Tous les scores s'améliorent entre 1970 et 2025. Une amélioration du score correspond à une amélioration du confort et de l'ergonomie du poste de travail.	15
Figure 2. Evolution des scores de design de poste de conduite selon trois scénarii d'évolution de la flotte entre 2025 et 2035. Les scénarii correspondent à une variation de la part de véhicules hybrides, électriques et thermiques dans la flotte suisse. Les scores de design de poste de conduites diminuent en 2035, indiquant des postes de conduites moins ergonomiques.	16
Figure 3. Simulation de l'évolution des valeurs d'exposition aux nuisances physiques et du taux d'échange entre 1970 et 2025 les expositions au bruit, champs magnétique et ratio de particules ultrafines ont diminué entre 1970 et nos jours. Cependant, les valeurs d'exposition au champs électriques de hautes fréquences ont augmenté.	17
Figure 4. Evolution des expositions aux risques physiques selon trois scénarii d'évolution de la flotte entre 2025 et 2035. Les scénarii correspondent à une variation de la part de véhicules hybrides, électriques et thermiques dans la flotte suisse. L'exposition au bruit équivalent augmente plus fortement pour les scénarii avec plus de véhicules hybrides et électriques, alors que l'exposition aux vibrations diminue plus pour les scénarii avec plus de véhicules hybrides et électriques. Pour les autres expositions physiques, il y a peu de différences entre les scénarii.	18
Figure 5. Prévalence de problèmes de santé, accident, et de conducteur·trices ayant déjà conduit en étant inapte à la conduite, comparaison entre 2010, 2028 et 2022. DM : douleurs musculaires	29
Figure 6. Score de pénibilité des conditions de travail (données de 2022 uniquement)	31
Figure 7. Appréciation des conducteur·trices de bus quant à leur ambiance au travail	32
Figure 8. A gauche, pourcentage des conducteur·trices ayant reporté un impact du SARS-CoV-2 sur leurs conditions de travail. A droite, leur appréciation de la gestion de la crise sanitaire	34
Figure 9. Typologie des bus en Suisse, focus sur les véhicules de gabarit standard et midi (Créée avec Lucidchart, www.lucidchart.com)	36
Figure 10. Frise temporelle de l'évolution technologique des bus en Suisse depuis 1940 à 2022	37
Figure 11. Scores d'ergonomie de design du poste de conduite pour tous les véhicules-types sélectionnés. Plus le score est élevé, plus les conducteur·trices ont la possibilité de régler leur poste de travail ergonomiquement. Le score minimal est de zéro et le maximum est de 100.	40
Figure 12. Évolution des scores de design de poste de conduite entre 1970 et 2035, avec trois scénarios pour le futur	48
Figure 13. Evolution scores de design de poste de conduite selon trois scénarii d'évolution de la flotte entre 2025 et 2035	49
Figure 14. Évolution des valeurs d'exposition, de ratio de particules et de taux d'échange de l'air entre 1970 et 2025.....	50
Figure 15. Evolution des expositions aux risques physiques selon trois scénarii d'évolution de la flotte entre 2025 et 2035	51

Executive Summary en allemand

In vielen Ländern stellen Busfahrer/innen eine gefährdete Berufsgruppe dar. In der Schweiz haben Studien gezeigt, dass Beschäftigte im öffentlichen Verkehr eine hohe Prävalenz von Muskel-Skelett-Erkrankungen und eine überhöhte Sterblichkeit an Lungenkrebs, Magenkrebs und Selbstmord aufweisen. Es gibt jedoch nur wenige Informationen über ihre Arbeitsbedingungen und professionellen Expositionen, die mit den Gesundheitsdaten in Verbindung gebracht werden können. Um diese Lücke zu schließen, erstellten wir eine Bus-Expositions-Matrix (BEM), mit der die Expositions-niveaus verschiedener Belastungen in Abhängigkeit vom Busmodell geschätzt werden können. Wir konzentrierten uns dabei auf die Belastung durch Vibrationen, Lärm, elektromagnetische Felder, Partikelverschmutzung und Luftaustauschrate sowie auf die Ergonomie des Fahrerplatzes. Um die BEM zu erstellen, wurde ein Inventar und eine Typologie der Schweizer Busse erstellt. Für 10 Busmodelle, die die technologische Entwicklung der Schweizer Busflotte seit den 1970er Jahren am besten repräsentieren, wurden physikalische Messungen und eine ergonomische Bewertung des Fahrerplatzes durchgeführt. Die Messdaten wurden verwendet, um die charakteristischen Expositionen jedes Busmodells der aktuellen und zukünftigen Schweizer Flotte mithilfe der Methode des linearen Bayes'schen Modells zu modellieren und vorherzusagen. Die BEM ermöglicht es, die Entwicklung der Expositionen und Ergonomiewerte der verschiedenen Busse in Abhängigkeit von der Entwicklung der Zusammensetzung der Schweizer Flotte zu untersuchen. Die Flotte bestand in den 1970er Jahren bis 2010 hauptsächlich aus Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren. Danach ging der Anteil der Busse mit Verbrennungsmotoren zugunsten von Hybrid- und Elektrobussen zurück. Die ergonomischen Werte haben sich von 1970 bis heute verbessert. Die Exposition gegenüber Lärm und Vibrationen ist zurückgegangen, während die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern tendenziell gestiegen ist.

Executive Summary dans une seconde langue nationale

Dans tous les pays, les conducteur-trices de bus constituent un groupe professionnel à risque. En Suisse, les études ont montré que les travailleurs de transport public ont une prévalence élevée de troubles musculosquelettiques et une surmortalité par cancer du poumon, cancer de l'estomac et suicide. Cependant, il y a peu d'informations sur leurs conditions de travail et les expositions professionnelles à mettre en relation avec les données de santé. Pour combler cette lacune, nous avons créé une matrice bus-exposition (BEM) permettant d'estimer les niveaux d'exposition aux diverses nuisances en fonction du modèle de bus. Nous avons ciblé l'exposition aux vibrations, bruit, champs électromagnétiques, pollution particulaire et taux d'échange de l'air, ainsi que l'ergonomie de poste de conduite. Afin de créer la BEM, un inventaire et une typologie des bus suisses ont été établis. Pour 10 modèles-types de bus représentant au mieux l'évolution technologique de la flotte suisse depuis les années 1970 les mesures physiques et l'évaluation ergonomique du poste de conduite ont été effectuées. Les données de mesures ont servi pour modéliser et prédire les expositions caractéristiques de chaque modèle de bus de la flotte suisse actuelle et passée en utilisant la méthode de modèle bayésien linéaire. La BEM permet d'étudier l'évolution des expositions et des scores d'ergonomie des différents bus en fonction de l'évolution de la composition de la flotte suisse. Cette dernière était principalement composée de véhicules thermiques dans les années 1970 jusqu'aux années 2010. Ensuite, la part de bus thermiques a diminué au profit des bus hybrides et électriques. Les scores ergonomiques se sont améliorés entre 1970 et aujourd'hui. L'exposition au bruit et aux vibrations a diminué, tandis que celle aux champs électromagnétiques affiche une tendance à l'augmentation.

Executive Summary en anglais

Bus drivers constitute an occupational group at risk in all countries. In Switzerland, studies have shown that public transport workers have a high prevalence of musculoskeletal disorders and excess mortality from lung cancer, stomach cancer and suicide. However, there is little information on their working conditions and occupational exposures to link with health data. To fill this gap, we created a bus-exposure matrix (BEM) to estimate the level of exposure to occupational hazards as a function of bus model. We targeted exposure to vibration, noise, electromagnetic fields, particulate pollution, and air exchange rates, as well as driver station ergonomics. To create the BEM, an inventory and typology of Swiss buses was established. Physical measurements and ergonomic assessments of the driver's workplace were carried out on 10 bus models that best represent the technological evolution of the Swiss fleet

since the 1970s. The measurement data were used to model and predict the exposure levels of each bus model in the current and past Swiss fleet, using the Linear Bayesian Model (LBM) method. The BEM allows to study the changes in exposure and ergonomics scores for different buses as a function of changes in the composition of the Swiss fleet. From the 1970s to the 2010s, the Swiss fleet was mainly made up of thermal vehicles. Thereafter, the share of combustion-powered buses declined in favor of hybrid and electric buses. Ergonomic scores improved between 1970 and today. Exposure to noise and vibration has decreased, while exposure to electromagnetic fields present an increasing trend.

Résumé en allemand

Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass Busfahrer eine Risikopopulation sind, die zahlreichen Belastungen wie Luftverschmutzung [1-4], Lärm [3, 5-7], Vibrationen [3, 4, 6, 8, 9], oder Viren und Bakterien [10-13] ausgesetzt sein kann. Diese Belastungen können nach ihrer Art kategorisiert werden und entsprechen Risiken, zu denen noch organisatorische Risiken [3, 4, 14], psychosoziale Risiken [3, 4, 14] und ergonomische Risiken wie repetitive Bewegungen [3, 4, 14, 15] hinzukommen.

Diese berufsbedingten Belastungen können Krankheiten wie Krebs [1, 2, 16, 17], Muskel-Skelett-Erkrankungen [6, 18-20], Herz-Kreislauf-Erkrankungen [1, 3, 6, 14, 18, 21, 22] und Schlafstörungen [7, 14, 20, 23-25] hervorrufen, und können die psychische Gesundheit beeinträchtigen [3, 4, 14, 21, 24, 26].

In der Schweiz wurden nur wenige Studien über die Gesundheit von Busfahrerinnen und Busfahrern durchgeführt. Es gibt nur deren drei wovon nur einer einzigen spezifischen Studie über diese Bevölkerungsgruppe. Im Jahr 1992 veröffentlichten Guberan et al. einen Artikel, der eine erhöhte Sterblichkeit an Lungenkrebs und Magen-Darm-Krebs bei Busfahrerinnen und Busfahrern zeigte [17]. Im Jahr 2019 beobachteten Forscher von Unisanté, dass Fahrer/innen öffentlicher Verkehrsmittel im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung eine erhöhte Sterblichkeit an Lungenkrebs [16] und Selbstmord [27] aufweisen. Es gibt jedoch zu wenig Daten über die Arbeitsbedingungen von Busfahrern, um den Zusammenhang zwischen diesen und den oben genannten Krankheiten bestimmen zu können.

Methode

Um das Problem auf beschreibende Weise anzugehen, wurde, in Zusammenarbeit mit den im Bereich des öffentlichen Verkehrs tätigen Gewerkschaften, eine wiederholte Querschnittsstudie durchgeführt. Die Studie basiert auf einem Fragebogen zur Gesundheit und den Arbeitsbedingungen von Busfahrern, der in den Jahren 2010, 2018 und 2022 ausgefüllt wurde [28, 29].

Anschließend wurde eine Bus-Expositions-Matrix (BEM) entwickelt, um die Belastung der Busfahrer durch neun verschiedene Arten von Umweltbelastungen zu bewerten. Die BEM zeigt für jedes Busmodell der Schweizer Busflotte die Expositionswerte für die jeweiligen Schadstoffe. Das BEM wurde in mehreren Schritten entwickelt. Der erste Schritt war die Erstellung eines Inventars aller Busse, die seit den 1960er Jahren in der Schweiz verkehrten. Zu diesem Zweck wurden mit Hilfe des VöV und der Unternehmen eine Dokumentenstudie und eine Durchsicht der Daten der öffentlichen Verkehrsbetriebe durchgeführt. Die Bestandsaufnahme ergab 10 Typen von Busmodellen, die repräsentativ für die technologische Entwicklung im Busdesign sind. Zweitens wurden Messkampagnen an diesen Busmodellen durchgeführt, um die Belastung durch Vibrationen, Lärm, elektromagnetische Felder, PM₁₀ und ultrafeine Partikel (PUF), die Luftaustauschrate und die Ergonomie des Fahrerplatzes zu ermitteln. Wir haben uns für die Berechnung des PM₁₀- und PUF-Verhältnisses entschieden, um einen Wert zu erhalten, der unabhängig von Ort und Zeit der Messungen ist. Wenn man das Verhältnis kennt und historische Verschmutzungswerte hat, ist es möglich, die PM₁₀- und PUF-Expositionswerte der Busfahrer nachzuziehen. Der nächste Schritt war die Modellierung der genannten Belastungen und der ergonomischen Werte für den Fahrerarbeitsplatz. Für jede Art von Exposition wurde ein Bayes'sches Regressionsmodell erstellt, wobei die technischen Eigenschaften der Fahrzeuge als Prädiktorvariablen verwendet wurden. Im letzten Schritt wurden diese Modelle verwendet, um die neuen Expositionen für jedes Fahrzeugmodell der Schweizer Busflotte vorherzusagen und zuzuordnen, und um so die BEM zu erstellen. Um den Nutzen der BEM zu demonstrieren, haben wir die Entwicklung der Belastung seit 1970 bis zum Jahr 2035 anhand von drei Szenarien für die Zusammensetzung der Schweizer Busflotte modelliert.

Ergebnisse

In den drei Querschnittsstudien berichteten über 50% der Busfahrer/innen über Muskelschmerzen im Schulter- und Nackenbereich (51% im Jahr 2010, 51% im Jahr 2018 und 56.7% im Jahr 2022) und über 40% der Teilnehmer/innen berichteten auch über abnormale Müdigkeit (48.2% im Jahr 2010, 43.8% im Jahr 2018 und 51.4% im Jahr 2022) und Rückenschmerzen (46.9% im Jahr 2010, 45.3% im Jahr 2018 und 50.0% im Jahr 2022). Außerdem hatte 2022 jeder zweite Fahrer mindestens eine Krankschreibung (51.4%). Im Jahr 2010 war es jeder Dritte (33.3%) und im Jahr 2018 45.5%.

Das Inventar der Schweizer Busse besteht aus 116 Modellen, die zwischen 1980 und 2022 in der Schweiz verkehrten. Interessanterweise sind die beiden häufigsten Fahrzeugtypen auch die ersten die kreiert wurden: Busse mit Verbrennungsmotoren (90.6%) und Trolleybusse (4.4%). Beide Fahrzeugtypen wurden bereits vor 1960 in Betrieb genommen. Hybridbusse (2,7 % der Flotte) und Elektrobusse (1,9 %) wurden erst in den 2010er Jahren eingeführt. Die ersten Maßnahmen zur Verringerung der

Umweltbelastung durch Fahrzeuge waren die Schalldämmung des Motors zur Bekämpfung des Lärms in den 1970er Jahren und die EURO-Normen zur Begrenzung der Luftverschmutzung in den 1980er Jahren. Die EURO-Normen folgten aufeinander und wurden immer restriktiver.

Basierend auf den gemessenen Expositionswerten von zehn Bussen, die repräsentativ für die Entwicklung der Schweizer Busflotte sind, konnten wir sechzehn Bayes'sche Regressionsmodelle erstellen, eines für jeden Schadstoff und für jeden Ergonomiewert des Fahrerplatzes. Nach Anwendung dieser Modelle auf die Fahrzeuge im Busbestand, haben wir die BEM erhalten. Mithilfe dieses Tools können wir die Entwicklung der Ergonomie- und Expositionswerte in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Busflotte simulieren und vorhersagen. Die Simulationen der Entwicklung der Ergonomiewerte des Fahrerplatzes zeigen eine Verbesserung über die Jahre für alle Werte (Abbildung 1 und 2), gefolgt von einem leichten Rückgang der Ergonomiewerte für das Design des Fahrerplatzes nach 2025. Die Entwicklung der Immissionsbelastung (Abbildung 3 und 4) variiert je nach Immission. So ist der äquivalente Lärm (dB(A)) zwischen 1970 (83 dB(A)) und 2025 (72 dB(A)) gesunken, wird aber 2035 voraussichtlich wieder ansteigen. Währenddessen hat der Spitzenlärm (dB(C)) zunächst abgenommen, dann zugenommen und wieder abgenommen, um 2025 (116 dB(C)) einen etwas niedrigeren Wert zu erreichen als 1970 (117 dB(C)). Zwischen 1970 und 2025 haben die Vibrationen insgesamt abgenommen (0,33 m/s im Jahr 1970 und 0,31 m/s im Jahr 2025). Die Exposition gegenüber elektrischen Feldern (100 kHz-7GHz) hat seit den 2000er Jahren (0,12 V/m) bis 2025 (0,38 V/m) zugenommen. Dasselbe gilt für die Exposition gegenüber niederfrequenten elektrischen Feldern (5 Hz-100 kHz), die von 0,45 V/m im Jahr 1985 auf 0,48 V/m im Jahr 2025 gestiegen ist. Das PM₁₀-Verhältnis stieg zunächst zwischen 1970 (0,55) und 2000 (0,85) an und sank dann, sobald die Mehrheit der Fahrzeuge mindestens eine der EURO-Normen einhalten konnte, auf den aktuellen Wert von 0,55. Das PUF-Verhältnis scheint zwischen 1970 (4) und 2025 (1,7) stetig zu sinken. Schließlich sinkt die Luftaustauschrate zwischen 1970 und 2000 von etwa 3 Luftaustauschvorgängen pro Stunde auf nur noch 1. Danach steigt sie bis zum aktuellen Zeitraum auf 2 Luftaustauschvorgänge pro Stunde an.

Diskussion

Die Schweizer Busfahrer/innen sind eine Risikopopulation. Die am häufigsten berichteten Gesundheitsprobleme sind Muskel-Skelett-Erkrankungen und abnormale Müdigkeit. Da es sich jedoch um einen Online-Fragebogen handelt, ist es möglich, dass es zu einer Verzerrung durch Selbstangaben kommt. Das Projekt mit der Bus-Expositions-Matrix zeigt positive Entwicklungen wie die Abnahme der Luftverschmutzung und Lärmbelastung von den 1970er Jahren bis 2025 und eine Verbesserung der Gestaltung des Fahrerplatzes. Dies unterstützt die Hypothese, dass technologische Innovationen bei Bussen die Arbeitsbedingungen der Fahrer verbessern. Das Projekt zeigt jedoch einen Trend zur Zunahme der Exposition gegenüber elektrischen Feldern. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass eine Busflotte mit mehr Hybrid- und Elektrofahrzeugen die Arbeitsbedingungen der Busfahrer verändert. Hybrid- und Elektrofahrzeuge neigen dazu, lauter zu sein, und Hybridfahrzeuge sind mit höheren Belastungen durch elektrische Felder verbunden.

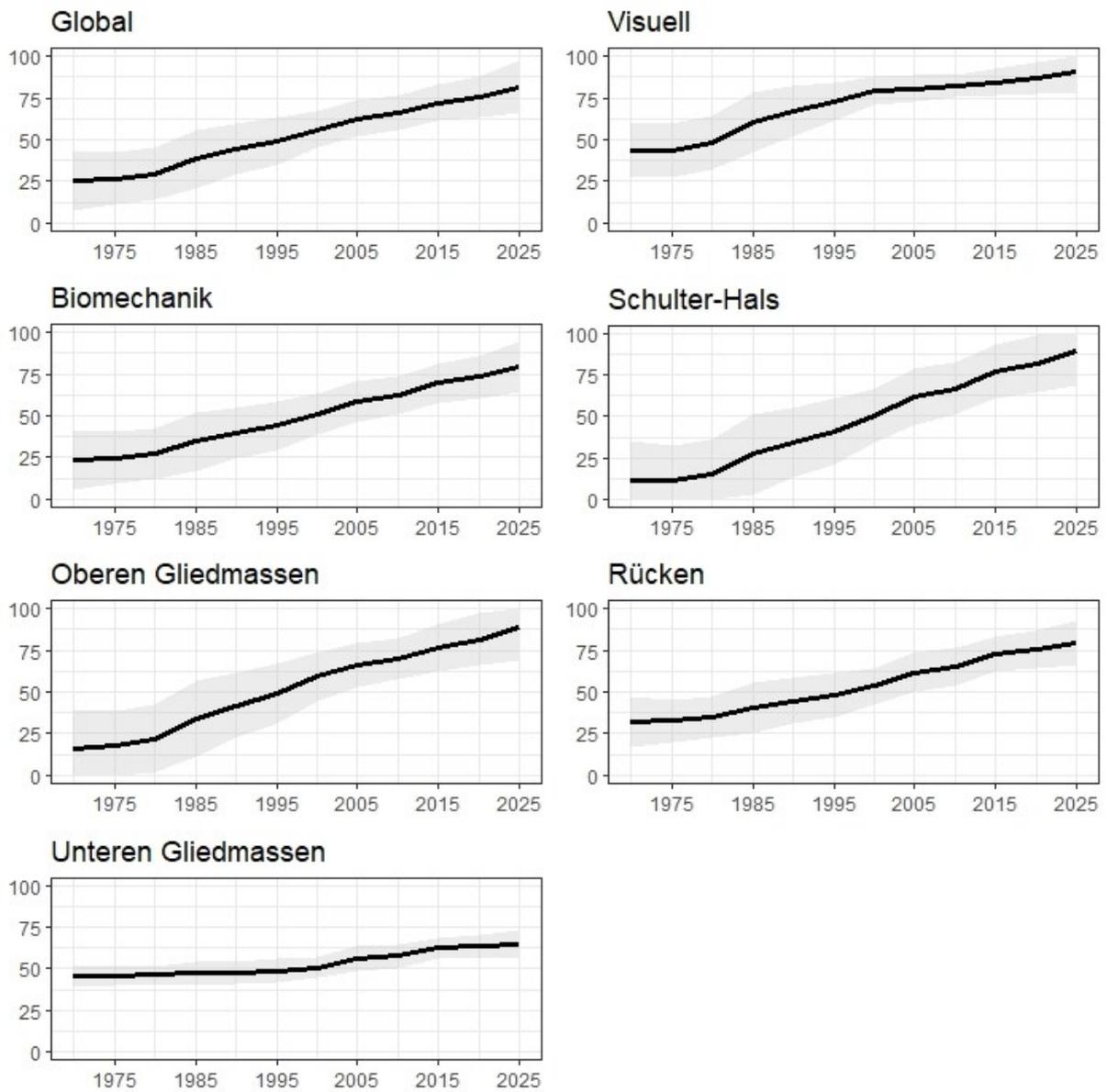


Abbildung 1. Entwicklung der Punktzahlen für das Design des Fahrerarbeitsplatzes zwischen 1970 und 2025. Jede Ergonomiewerte wird anhand des beeinflussten Körperbereichs definiert. Alle Ergonomiewerte verbessern sich zwischen 1970 und 2025. Eine Verbesserung der Ergonomiewerte.

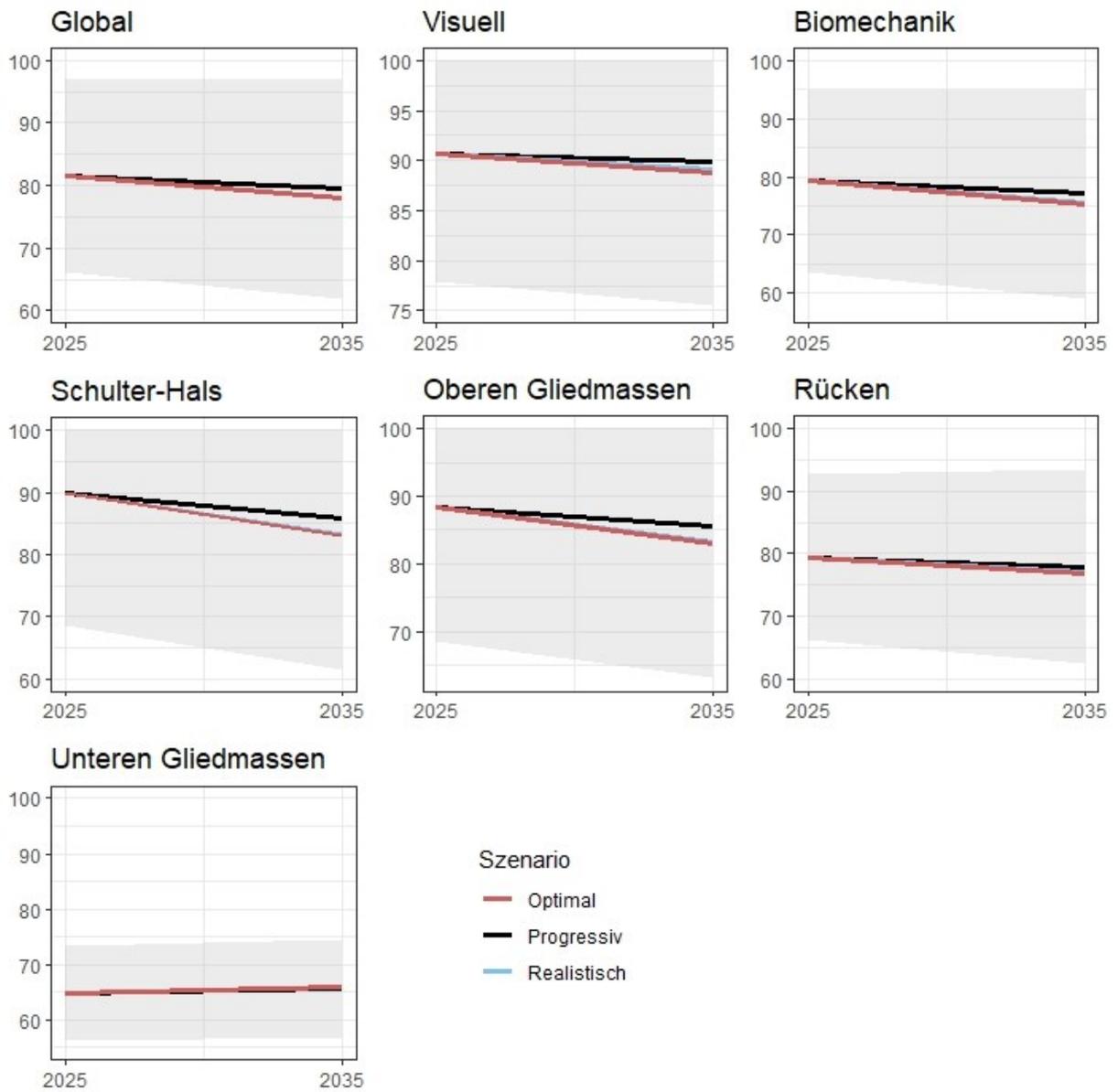


Abbildung 2. Entwicklung der Werte für das Cockpit-Design in drei Szenarien der Flottenentwicklung zwischen 2025 und 2035. Die Szenarien entsprechen einer Veränderung des Anteils von Hybrid-, Elektro- und

Verbrennungsfahrzeugen in der Schweizer Flotte. Die Werte für das Fahrerplatzdesign sinken im Jahr 2035, was auf weniger ergonomische Fahrerplätze hinweist.

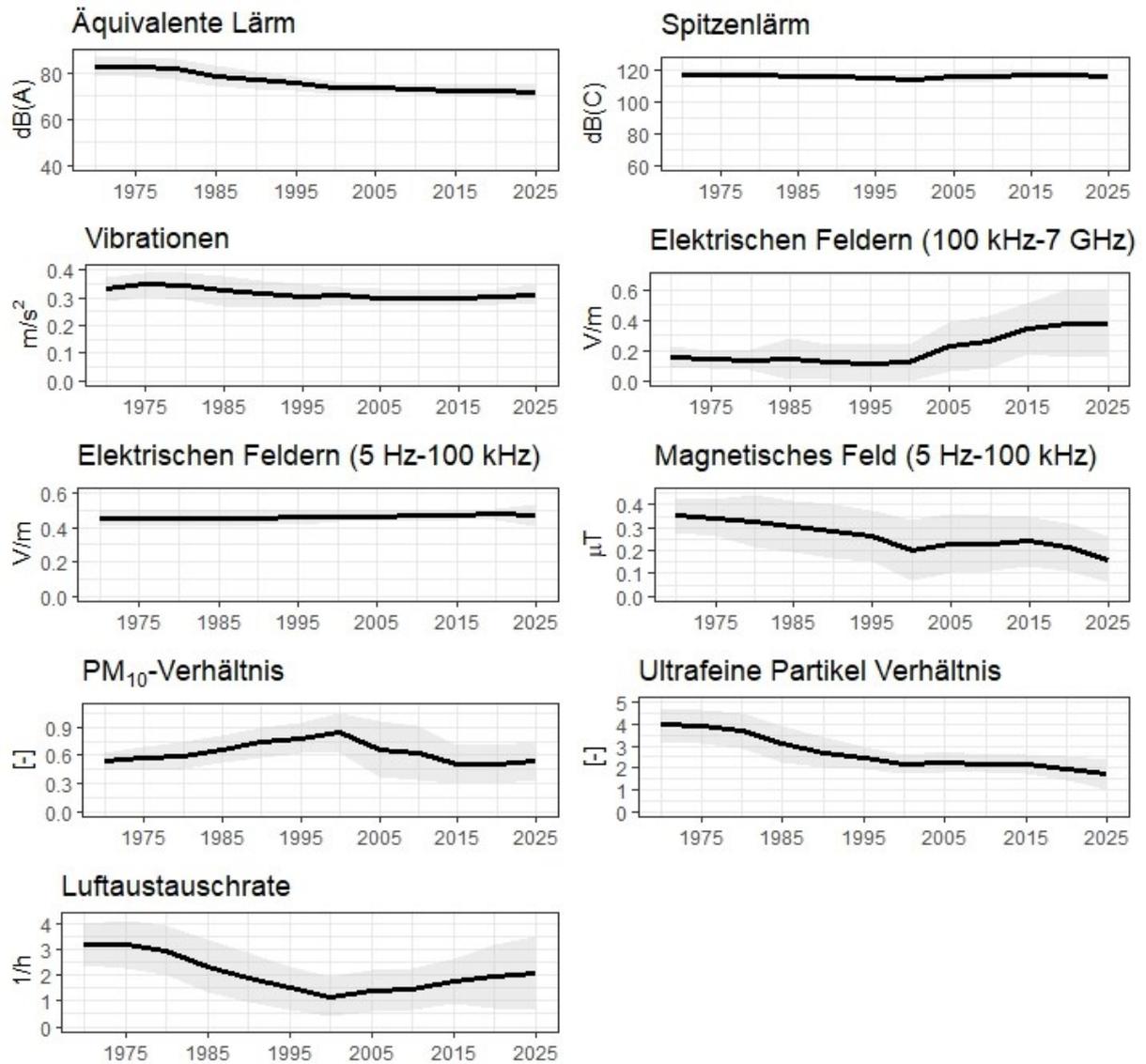


Abbildung 3. Simulation der Entwicklung der Belastungswerte für physikalische Belastungen und der Austauschrate zwischen 1970 und 2025. Die Belastungen durch Lärm, Magnetfelder und ultrafeine Partikel sind zwischen 1970 und heute zurückgegangen. Die Belastung durch hochfrequente elektrische Felder hat jedoch zugenommen.

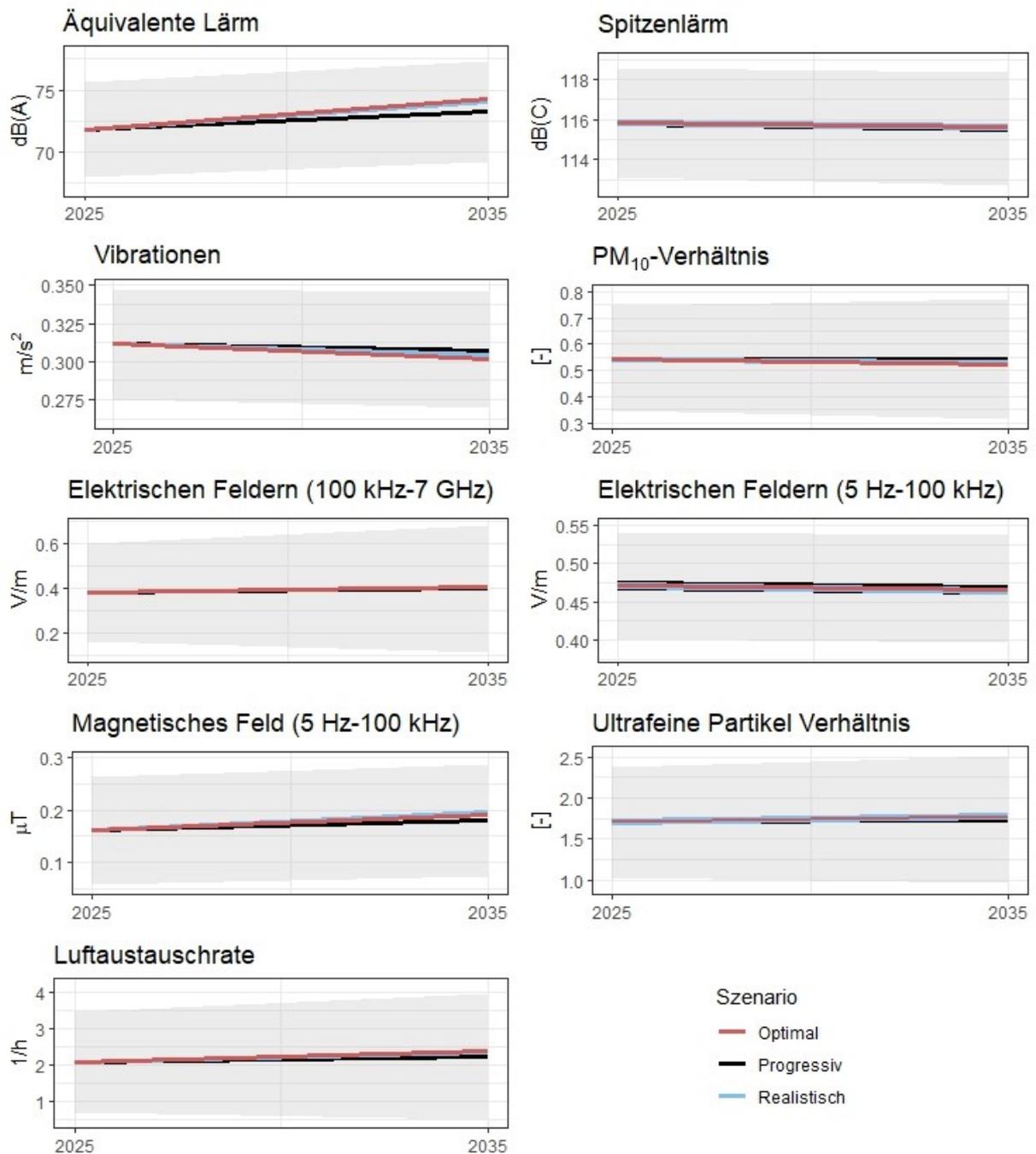


Abbildung 4. Entwicklung der physischen Risikoexpositionen in drei Szenarien der Flottenentwicklung zwischen 2025 und 2035. Die Szenarii entsprechen einer Veränderung des Anteils von Hybrid-, Elektro- und Verbrennungsfahrzeugen in der Schweizer Flotte. Die Exposition gegenüber äquivalentem Lärm nimmt bei den Szenarien mit mehr Hybrid- und Elektrofahrzeugen stärker zu, während die Exposition gegenüber Vibrationen bei den Szenarien mit mehr Hybrid- und Elektrofahrzeugen stärker abnimmt. Bei den anderen physischen Expositionen gibt es kaum Unterschiede zwischen den Szenarien.

Résumé en français

De nombreuses recherches ont montré que les conducteur·trices de bus constituent une population à risque, pouvant être exposée à de nombreuses nuisances telles que la pollution atmosphérique [1-4], le bruit [3, 5-7], les vibrations [3, 4, 6, 8, 9] et les virus et bactéries [10-13]. Ces nuisances peuvent être catégorisées selon leur nature et correspondent à des risques auxquels s'ajoutent les risques organisationnels [3, 4, 14], les risques psychosociaux [3, 4, 14] et les risques liés à l'ergonomie, comme les mouvements répétitifs [3, 4, 14, 15].

Ces expositions professionnelles peuvent engendrer des maladies telles que des cancers [1, 2, 16, 17], des troubles musculosquelettiques [6, 18-20], des maladies cardiovasculaires [1, 3, 6, 14, 18, 21, 22], des troubles du sommeil [7, 14, 20, 23-25] et peuvent affecter la santé mentale [3, 4, 14, 21, 24, 26].

Peu d'études ont été entreprises en Suisse sur la santé des conducteur·trices de bus. On en retrouve trois avec une seule étude spécifique sur cette population. En 1992, Guberan et al., ont publié un article montrant une surmortalité par cancer du poumon et par cancer gastrointestinal des conducteur·trices de bus [17]. En 2019, des chercheur·ses d'Unisanté ont observé que des conducteur·trices de transport public ont une surmortalité par cancer du poumon [16] et par suicide [27] comparés à la population générale. Cependant, peu de données sur les conditions de travail des conducteur·trices de bus sont disponibles pour déterminer le lien entre ces dernières et les maladies citées ci-dessus.

Méthode

Une étude transversale répétée, menée en collaboration avec les syndicats actifs dans le domaine des transports publics, a été réalisée pour aborder le problème de manière descriptive. Cette étude s'est basée sur un questionnaire portant sur la santé et les conditions de travail des conducteur·trices de bus, administré en 2010, 2018 et 2022 [28, 29].

Ensuite, une matrice bus-exposition (BEM) a été développée pour évaluer le niveau d'exposition des conducteur·trices de bus à neuf types de nuisances. Pour chaque modèle de bus de la flotte suisse, cette BEM affiche des niveaux d'exposition aux nuisances considérées. La BEM a été développée en plusieurs étapes. La première étape était la création d'un inventaire de tous les bus ayant circulé en Suisse depuis les années 1960. Pour cela une étude documentaire et une revue des données des entreprises de transports publics ont été réalisées avec l'aide de l'UTP et des entreprises. L'inventaire a permis d'identifier 10 types de modèles de bus représentatifs de l'évolution technologique dans la conception des bus. En deuxième lieu des campagnes de mesures sur ces modèles-types de bus ont été réalisées pour estimer les niveaux d'exposition aux vibrations, bruit, champs-électromagnétique, ratio de PM₁₀ et particules ultrafines (PUF), le taux d'échange de l'air et les scores d'ergonomie du poste de conduite. Nous avons choisi de calculer le ratio de PM₁₀ et de PUF afin d'avoir une valeur indépendante du lieu et de la période des mesures. En connaissant le ratio et en ayant des valeurs de pollution historique, il est possible de retracer les valeurs d'exposition au PM₁₀ et PUF des conducteur·trices de bus. L'étape suivante était la modélisation des nuisances mentionnées et des scores ergonomiques de poste de conduite. Pour chaque type d'exposition un modèle de régression bayésienne a été construit en utilisant les caractéristiques techniques des véhicules comme variables-prédicteurs. Lors de la dernière étape, ces modèles ont permis de prédire et imputer les nouveaux d'exposition à chaque modèle de composant la flotte de bus suisse afin de construire la BEM. Enfin, pour démontrer une des utilités de la BEM, nous avons modélisé l'évolution des expositions aux nuisances considérées depuis 1970 et jusqu'en 2035 en se basant sur trois scénarios de la composition de la flotte de bus suisse.

Résultats

Lors des trois études transversales, plus de 50% des conducteur·trices de bus ont reporté ressentir des douleurs musculaires des épaules et du cou (51% en 2010, 51% en 2018 et 56.7% en 2022) et plus de 40% des participant·es ont également reporté de la fatigue anormale (48.2% en 2010, 43.8% en 2018 et 51.4% en 2022) et des maux de dos (46.9% en 2010, 45.3 % en 2018 et 50.0% en 2022). De plus, en 2022, un·e conducteur·trice sur deux a eu au moins un arrêt-maladie (51.4%). Cette prévalence était d'un·e sur trois en 2010 (33.3%) et de 45.5% en 2018.

L'inventaire de bus suisses est composé de 116 modèles ayant circulé en Suisse entre 1980 et 2022. Il est intéressant de noter que les deux types de véhicules les plus courants sont également les premiers à avoir été créés : les bus thermiques (90.6%) et les trolleybus (4.4%). La mise en service de ces deux types de véhicules date d'avant 1960. Il faut attendre les années 2010 pour voir apparaître les bus hybrides (2.7% de la flotte) et les bus électriques (1.9%). Les premières mesures pour diminuer les nuisances dues aux véhicules sont l'insonorisation du moteur pour lutter contre le bruit dans les années

1970 et les normes EURO pour limiter la pollution atmosphérique dès les années 1980. Les normes EURO se sont succédées, devenant de plus en plus restrictive.

En se basant sur des niveaux d'exposition mesurées sur dix bus représentatifs de l'évolution de la flotte suisse, nous avons pu faire seize modèles de régression bayésiennes, un pour chaque nuisance considérée et pour chaque score d'ergonomie de poste de conduite. Une fois ces modèles appliqués aux véhicules de l'inventaire de bus, nous avons obtenu la BEM. Grâce à cet outil, nous pouvons simuler et prédire l'évolution des scores d'ergonomie et d'exposition en fonction de la composition de la flotte de bus. Les simulations d'évolution des scores d'ergonomie de poste de conduite montrent une amélioration avec les années pour tous les scores (Figure 1 et 2)), suivi d'une légère diminution du score de design de poste de conduite après 2025. L'évolution des expositions aux nuisances (Figure 3 et 4) varie selon les nuisances. En effet, le bruit équivalent (dB(A)) a diminué entre 1970 (83 dB(A)) et 2025 (72 dB(A)) mais devrait augmenter en 2035. Cependant, le bruit de crête (dB(C)) a d'abord diminué, puis augmenté et rediminué pour atteindre un niveau un peu plus bas en 2025 (116 dB(C)) qu'en 1970 (117 dB(C)). Entre 1970 et 2025, les vibrations ont globalement diminué (0.33 m/s en 1970 et 0.31 m/s en 2025). L'exposition aux champs électriques (100 kHz-7GHz) a augmenté depuis les années 2000 (0.12 V/m jusqu'en 2025 (0.38 V/m). Il en est de même pour l'exposition aux champs électriques à basse fréquence (5 Hz-100 kHz), qui sont passés de 0.45 V/m en 1985 à 0.48 V/m en 2025. Le ratio de PM₁₀ a d'abord augmenté entre 1970 (0.55) et 2000 (0.85) puis diminué dès que la majorité des véhicules a pu respecter au moins une des normes EURO, pour atteindre son niveau actuel de 0.55. Le ratio de PUF semble en constante diminution entre 1970 (4) et 2025 (1.7). Enfin, le taux d'échange de l'air diminue entre 1970 et 2000 pour passer d'environ 3 échanges d'air par l'heure à seulement 1. Ensuite, il augmente jusqu'à la période actuelle pour atteindre 2 échanges d'air par heure.

Discussion

Les conducteur·trices de bus suisses est une population à risque. Les problèmes de santé le plus fréquemment rapportés sont des troubles musculosquelettiques et une fatigue anormale. Cependant, s'agissant d'un questionnaire en ligne, il est possible qu'il y ait un biais d'auto-déclaration.

Le projet grâce à une matrice de bus-exposition montre des évolutions positives telles que la diminution de l'exposition à la pollution atmosphérique et au bruit depuis les années 1970 jusqu'en 2025 et une amélioration dans le design du poste de conduite. Cela soutient l'hypothèse que l'innovation technologiques des bus améliore les conditions de travail des conducteur·trices. Cependant, ce projet montre une tendance à l'augmentation de l'exposition aux champs électriques. De plus, il est possible de constater qu'une flotte de bus avec plus de véhicules hybrides et électriques modifient les conditions de travail des conducteur·trices de bus. En effet, les véhicules hybrides ont tendance à être plus bruyant et sont liés à des expositions plus élevées aux champs électriques.

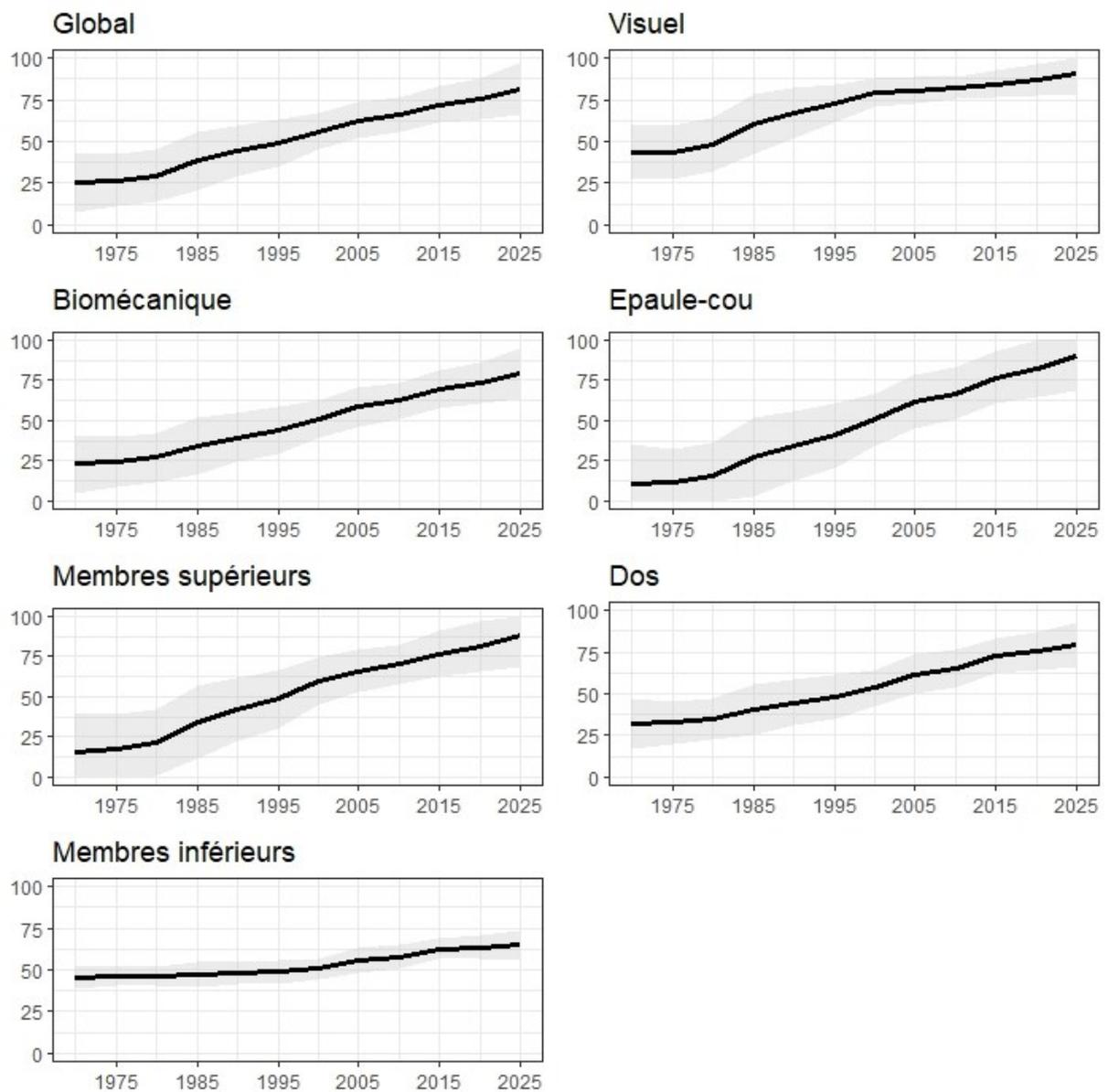


Figure 1. Evolution des scores de design de poste de conduite entre 1970 et 2025. Chaque score est défini en fonction de la zone du corps impactée. Tous les scores s'améliorent entre 1970 et 2025. Une amélioration du score correspond à une amélioration du confort et de l'ergonomie du poste de travail.

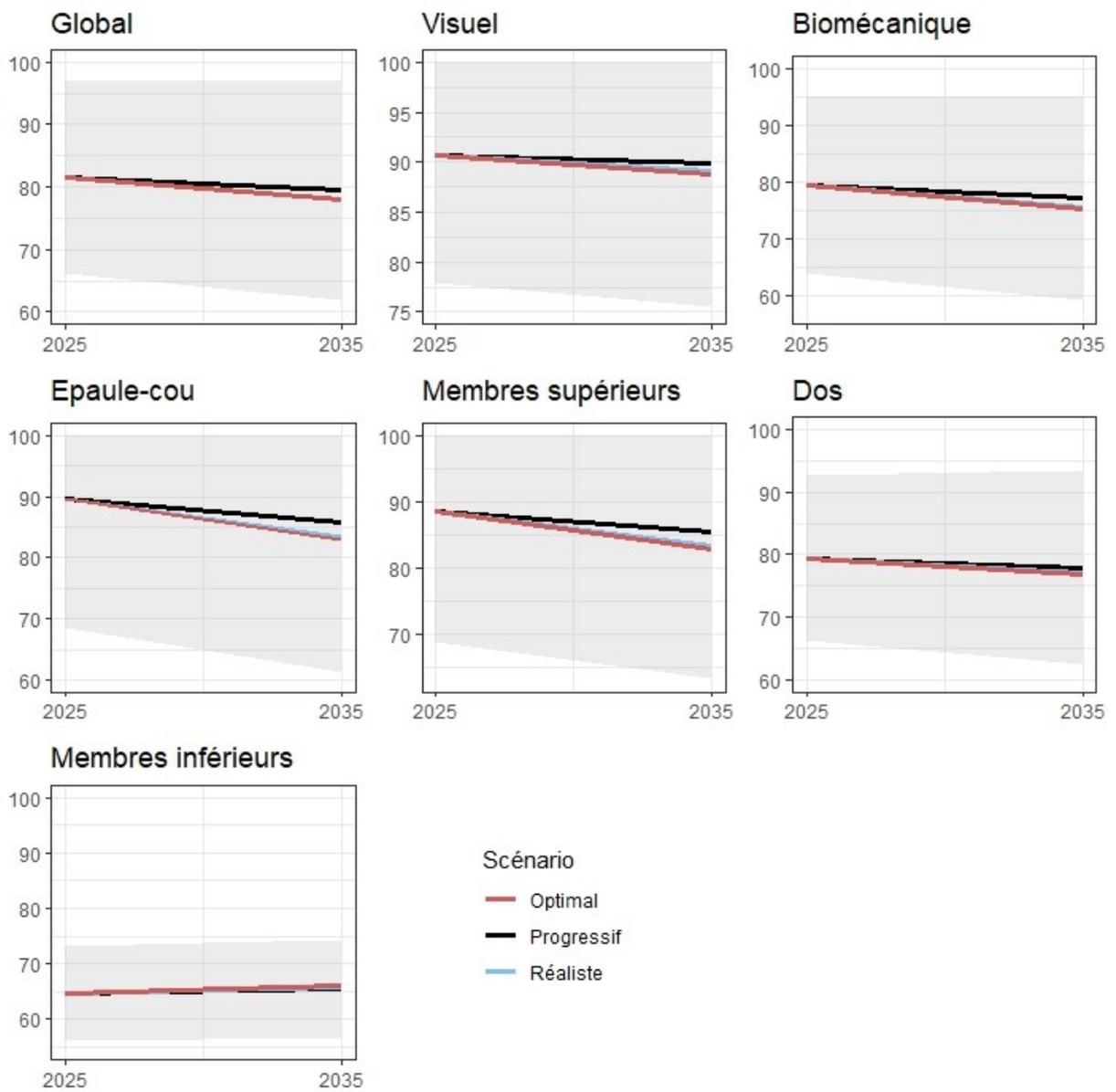


Figure 2. Evolution des scores de design de poste de conduite selon trois scénarii d'évolution de la flotte entre 2025 et 2035. Les scénarii correspondent à une variation de la part de véhicules hybrides, électriques et thermiques

dans la flotte suisse. Les scores de design de poste de conduites diminuent en 2035, indiquant des postes de conduites moins ergonomiques.

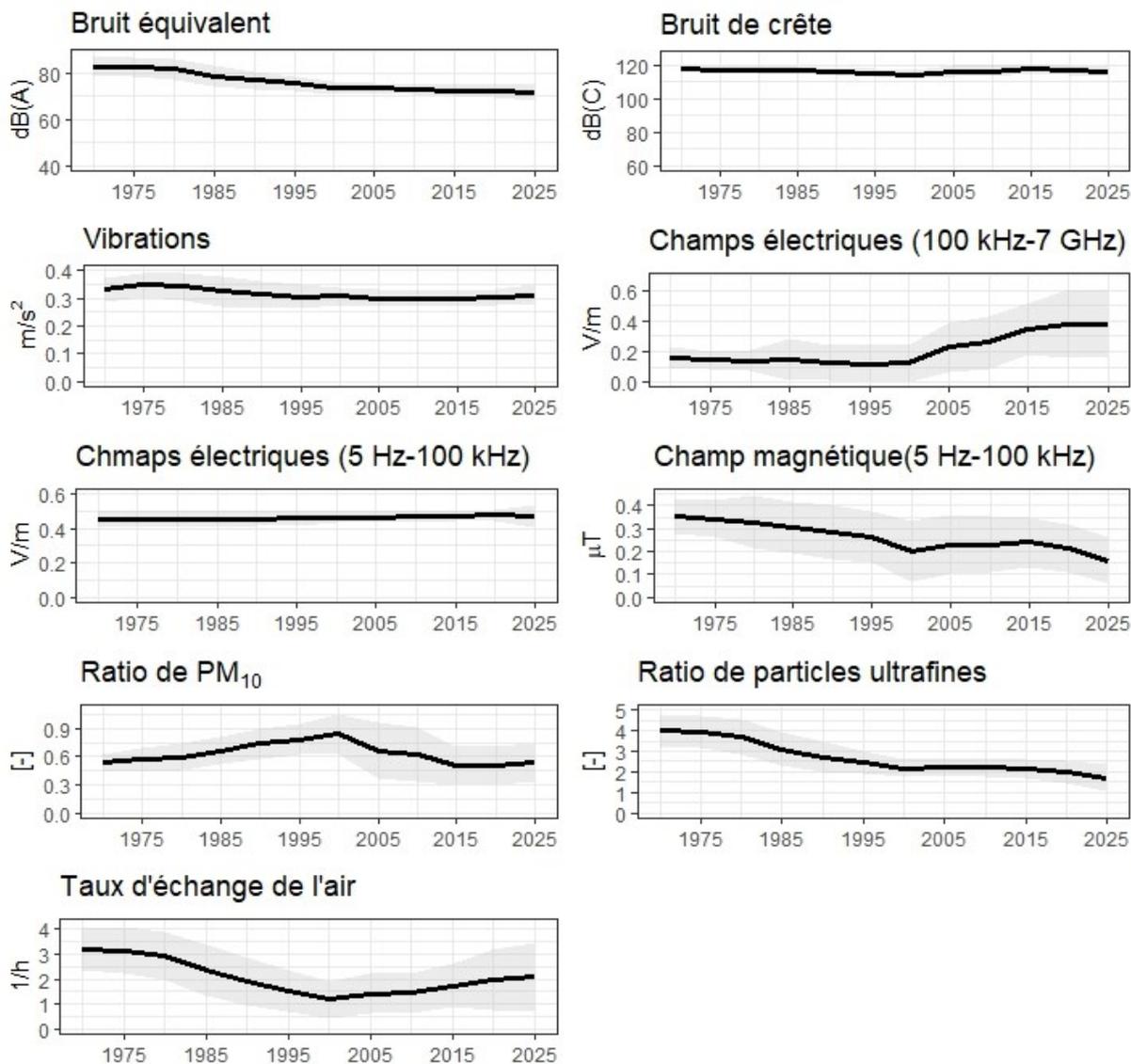


Figure 3. Simulation de l'évolution des valeurs d'exposition aux nuisances physiques et du taux d'échange entre 1970 et 2025. Les expositions au bruit, champs magnétique et ratio de particules ultrafines ont diminué entre 1970 et nos jours. Cependant, les valeurs d'exposition aux champs électriques de hautes fréquences ont augmenté.

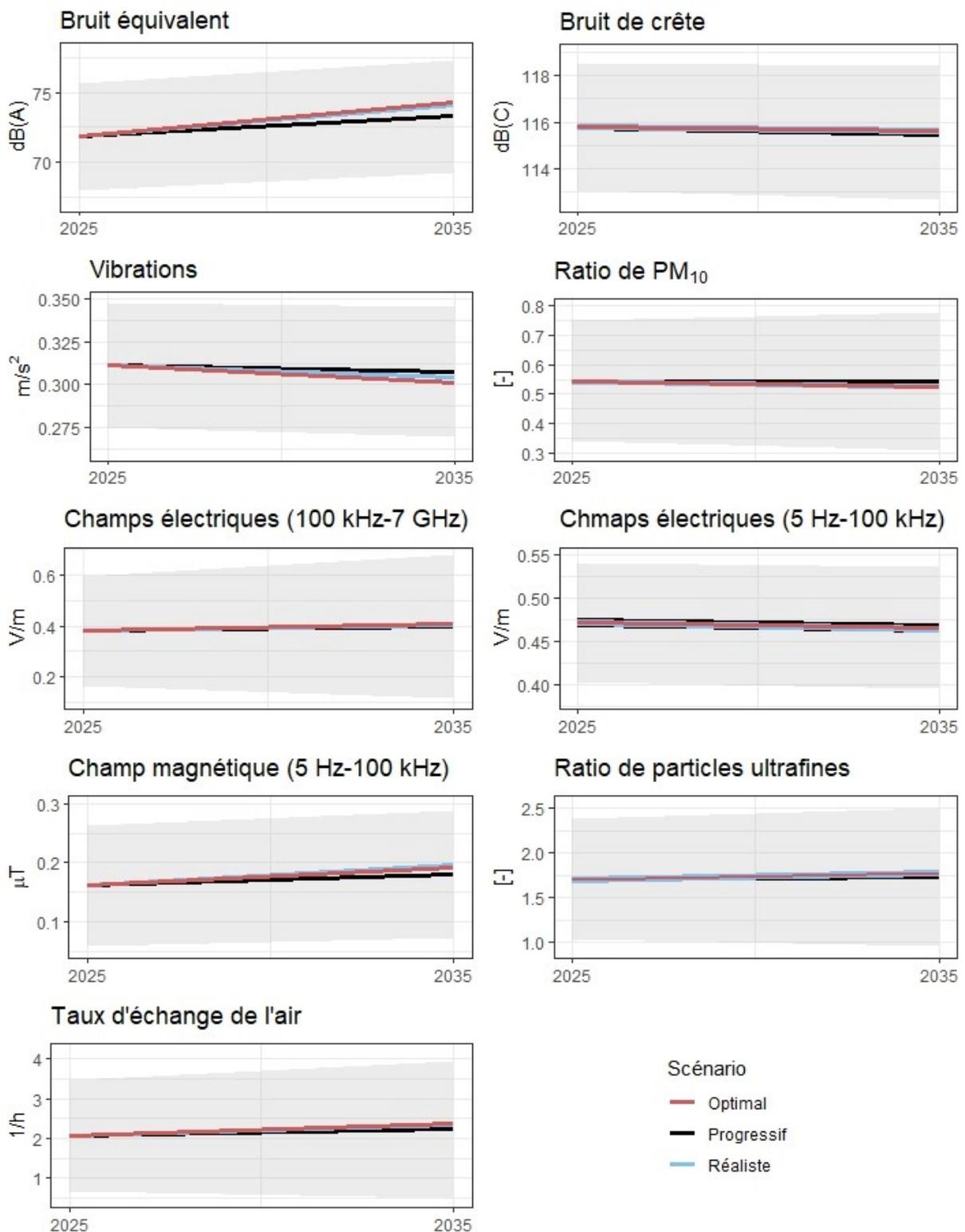


Figure 4. Evolution des expositions aux risques physiques selon trois scénarii d'évolution de la flotte entre 2025 et 2035. Les scénarii correspondent à une variation de la part de véhicules hybrides, électriques et thermiques dans la flotte suisse. L'exposition au bruit équivalent augmente plus fortement pour les scénarii avec plus de véhicules hybrides et électriques, alors que l'exposition aux vibrations diminue plus pour les scénarii avec plus de véhicules hybrides et électriques. Pour les autres expositions physiques, il y a peu de différences entre les scénarii.

1. Situation de départ

Les conducteur·trices de bus sont considérés comme une catégorie professionnelle à risque [4, 30, 31]. En effet, les conducteur·trices de bus peuvent être exposé·es à de nombreux facteurs de risques environnementaux et professionnels. Parmi ceux-ci, on peut distinguer les risques organisationnels, notamment les horaires de travail longs et irréguliers, les horaires fractionnés, le travail de nuit et du week-end [3, 4, 14]. Il y a également les exigences physiques, notamment les mouvements répétitifs, la position assise inconfortable pendant une longue période et l'assistance aux passager·ères à mobilité réduite [3, 4, 14]. De plus, l'environnement de travail peut être stressant selon les conditions de trafic routier et les conditions météorologiques [3, 14] où le mauvais temps, les trajets de nuit et le trafic intense sont associés aux problèmes de sécurité tel que les accidents et les altercations éventuelles avec d'autres usager·ères de la route et les passager·ères. L'agressivité et les incivilités des passager·ères et des autres usager·ères de la route font partie des risques psychosociaux au travail [3, 4, 14]. A ces risques susmentionnés s'ajoutent plusieurs risques physiques, chimiques et biologiques : bruit [3, 5-7, 32], vibrations [3, 4, 6, 9, 32, 33], la pollution atmosphérique [1-4], moisissure, bactéries et virus [10], tel que SRAS-CoV-2 [11-13].

Ces expositions professionnelles peuvent favoriser le développement de diverses maladies dont le cancer du poumon [1, 2, 16, 17] et d'autres maladies respiratoires [1, 3, 17, 20] ; les maladies cardiovasculaires [1, 3, 6, 14, 18, 21, 22], les maladies gastro-intestinales [14, 17, 18, 20], la perte d'audition [3, 5], les troubles musculosquelettiques [6, 9, 18-20], les problèmes de santé mentale [3, 4, 14, 21, 24, 26], les troubles du sommeil et la fatigue [7, 14, 20, 23-25].

En Suisse, par rapport à la population générale, les conducteur·trices de bus ont été identifiés comme présentant une surmortalité par cancer du poumon [16, 17], par cancer gastro-intestinal [17]) et par suicide [27]. Cependant, aucune donnée sur les expositions professionnelles n'était disponible pour examiner les causes potentielles de cette surmortalité. Toutefois, il a été possible de distinguer les facteurs socio-économiques et environnementaux des facteurs de risque professionnels et de confirmer le rôle de ces derniers dans la mortalité par cancer du poumon [34] et par suicide [34, 35]. Parmi les facteurs de risque de suicide, une prévalence élevée de troubles mentaux et comportementaux (tels que des troubles liés aux substances et à la dépendance et des troubles de l'humeur) a été observée chez les travailleur·euses du secteur des transports en Suisse [36].

Pourtant, on sait peu de choses sur l'exposition professionnelle et l'état de santé des conducteur·trices suisses spécifiquement. Les seules informations disponibles proviennent des enquêtes menées par un syndicat actif dans le domaine des transports [37, 38], qui n'étaient pas réalisées selon les standards de recherche scientifique et, par conséquent, ne pouvaient pas atteindre la communauté scientifique et les parties prenantes.

Le projet SENS (Stratégie Energétique et Santé) vise à combler ces lacunes et à utiliser les données disponibles et nouvellement collectées pour documenter les conditions de travail, les expositions professionnelles et la santé des conducteur·trices suisses. De plus, ce projet permet la création d'un nouvel outil épidémiologique, une matrice bus-exposition (BEM), par analogie avec la matrice emplois-expositions¹ [39, 40]. Cet outil va permettre l'étude de l'évolution des expositions professionnelles en caractérisant des expositions propres à chaque modèle de bus de la flotte suisse.

2. Objectifs du travail

Le projet SENS a trois objectifs principaux : 1) Faire un 1^{er} bilan descriptif sur l'état de santé des conducteur·trices de bus suisses et leurs conditions de travail (Partie I) ; 2) mesurer des niveaux d'exposition à une série des nuisances en fonction de l'évolution technologique des bus, et 3) créer une Matrice Bus-Exposition (BEM pour *Bus-Exposure-Matrix*) (Partie II). A noter que deux articles ont déjà été publiés sur les résultats de la partie I [28, 29].

¹ Tableau associant une liste des professions ou d'emplois avec des données d'exposition aux nuisances caractéristiques de ces emplois.

3. Approche adoptée et état des connaissances actuelles

3.1. PARTIE I : ÉTUDE TRANSVERSALE RÉPÉTÉE

Une étude de bibliographie nous a permis de constater qu'il existe peu de publications sur les conditions de travail et la santé des conducteur-trices de bus en Suisse. Cependant, il existe deux études transversales réalisées par un syndicat, l'une en 2010 et la seconde en 2018, mais il ne s'agit pas des études scientifiques expertisées par des paires et publiées comme telles. Ces études étaient basées sur le même questionnaire portant sur la santé et les conditions de travail des conducteur-trices de bus. Il s'agissait d'un questionnaire fait par des conducteur-trices pour les conducteur-trices, distribué directement aux conducteur-trices. En 2022, le comité d'éthique CER-VD nous a autorisé d'exploiter ces données et de réaliser une nouvelle étude transversale basée sur le questionnaire initial, enrichi de nouvelles questions. Les nouveautés du questionnaire 2022 comprennent l'utilisation du logiciel RedCap [41, 42] pour créer et collecter les réponses, l'ajout de deux nouvelles sections : Sars-CoV-2 et historique de carrière, et la collaboration entre Unisanté et les trois syndicats suisses des transports publics. Les données ont été analysées à l'aide de R version 4.2.3 [43].

3.1.1. LE QUESTIONNAIRE

Le questionnaire (Annexe A.1) était composé de six parties. La première partie portait sur la perception de la santé des conducteur-trices de bus. Les conducteur-trices de bus ont été invités à indiquer, parmi les 13 problèmes de santé proposés, ceux qu'ils ressentaient au moins une fois par mois. Les problèmes de santé perçus sont répartis en quatre catégories : douleurs musculosquelettiques (4), maladies gastro-intestinales (2), santé mentale (4) et autres (3). La prévalence de chaque problème de santé a été calculée.

La deuxième partie du questionnaire portait sur les conditions de travail et était divisée en trois sous-parties. Dans la première sous-partie, nous avons demandé aux conducteur-trices d'évaluer de 1-pas important à 5-très important, des paramètres ergonomiques tels que le siège et la circulation de l'air. Nous avons calculé la note moyenne et l'écart-type pour chaque paramètre ergonomique. Dans la deuxième sous-partie, les conducteur-trices de bus ont été invités à noter de 1 - très pénible à 4 - pas pénible, douze conditions de travail telles que le comportement des cyclistes, l'accès aux toilettes et la durée de la journée de travail. Pour calculer la moyenne et utiliser les données pour une analyse plus approfondie, nous avons inversé l'échelle de 1-pas pénible à 4-très pénible, et nous avons calculé la moyenne et l'écart-type pour chaque élément pénible. La troisième sous-partie portait sur l'ambiance de travail, les conducteur-trices de bus devaient choisir les trois éléments les plus importants parmi une liste de neuf d'éléments couvrant le salaire, la solidarité entre les conducteur-trices et la sécurité au travail. Nous avons calculé la prévalence de chaque élément de l'ambiance de travail.

La troisième partie du questionnaire 2022 renseignait des variables socioprofessionnelles et démographiques. Nous avons posé des questions sur le sexe, l'âge, la région de résidence, le niveau d'études, l'apprentissage, les compagnies de bus et le rythme de travail.

Les trois premières parties étaient incluses dans les questionnaires de 2010 et 2018. Les parties suivantes ont été ajoutées au questionnaire de 2022.

La quatrième partie portait sur l'historique des bus conduits. Les conducteur-trices devaient indiquer la marque, le modèle, la proportion de temps de conduite avec ce véhicule, la période (année-année) et le type de route (urbaine, régionale ou mixte). Il a été demandé d'indiquer tous les autobus et trolleybus conduits au cours de leur vie professionnelle.

La cinquième partie portait sur l'impact du SRAS-CoV-2 sur les conditions de travail et la santé, et sur leur évaluation des mesures prises au début et pendant la crise sanitaire. Les questions étaient de type oui/non. En outre, nous avons demandé aux conducteur-trices d'évaluer (selon la notation suisse) la gestion de la crise sanitaire par leur entreprise. Pour la question oui/non, nous avons calculé la prévalence des réponses affirmatives ainsi que la note moyenne de la gestion de la crise par l'entreprise.

La dernière partie a été utilisée pour demander aux conducteur-trices s'ils accepteraient de participer à une future étude de cohorte. Nous avons calculé le pourcentage de chaque réponse.

3.1.2. ANALYSE STATISTIQUE

Pour aller plus loin, nous avons utilisé les données des questionnaires 2010 et 2018 pour étudier l'évolution de la prévalence des problèmes de santé et l'évolution des conditions de travail pénibles. Pour ce faire, nous avons procédé en deux temps. D'abord, une analyse de régression logistique pour les problèmes de santé corrigés pour l'âge, le sexe et la région a été réalisée. Ensuite, nous avons fait une 'analyse de régression linéaire pour les conditions de travail pénibles. Les résultats ont été présentés sous la forme d'un ratio des côtes (odds ratio, OR) et d'un intervalle de confiance à 95 % (95% CI).

3.2. PARTIE II : INVENTAIRE DES BUS SUISSES

L'établissement de l'inventaire des bus utilisés en Suisse a été réalisé par la méthode de recherche documentaire sur les sites web des entreprises de transport public suisses, des musées des constructeurs de bus suisses et de l'histoire régionale des véhicules créée par les associations de conducteur-trices de bus et de passionnés de bus. En outre, les compagnies et les musées de bus ont été contactés pour compléter et vérifier leur inventaire. Cette recherche s'est également appuyée sur l'union de transport publique (UTP) qui a facilité les relations avec les compagnies de transports.

L'inventaire est composé de données techniques telles que la taille, le type de moteur et le type de suspension, et d'informations démographiques telles que le nom de l'entreprise et la région où le véhicule est présent. Les données sont séparées par modèle de bus. Si deux modèles de bus sont quasiment identiques à l'exception de la puissance du moteur, ou du type de plancher, ils sont considérés comme modèles différents. Cependant, si la seule différence entre deux modèles est le moteur (p.ex. : Volvo B 10 M moteur THD 100 DD et THD 101 GC), ils sont considérés comme un seul modèle.

Une fois l'inventaire terminé, une frise temporelle a été établie pour identifier et mettre en évidence les innovations technologiques intervenues au cours des 60 dernières années. Cette frise et le repérage des ruptures technologiques ou des innovations majeures ont ensuite permis de dresser une typologie de véhicules sur la base du type de motorisation, de la boîte de vitesses, de la suspension et de la position du moteur. L'inventaire et la typologie des bus, ainsi que l'aide de conducteurs de bus et d'experts d'UTP et des associations, nous ont permis de sélectionner les dix véhicules les plus représentatifs (bus-types) des différentes générations de la flotte suisse.

En outre, une analyse de modèle de classe latente a été réalisée pour classer les différents modèles de bus en groupes de véhicules aux caractéristiques similaires liées par une classe latente. Le package R *poLCA* [44] a été utilisé pour construire et appliquer des modèles de classe latente. Chaque modèle de classe latente a été construit en utilisant différentes formules de type « réponse~prédicteur » et un nombre de classes allant de 2 à 10. Les formules ont été dérivées en concevant un graphe acyclique dirigé (GAD) [45] pour mettre en évidence les éléments technologiques des bus qui pourraient influencer l'exposition aux vibrations, au bruit, aux champs électromagnétiques, la conception des cabines de bus, le taux de renouvellement de l'air et la pollution particulaire de l'air (Annexe A.2). Cent huitante modèles de classe latente ont été développés (20 formules différentes, nombre de classe variant de 2 à 10) et comparés. Pour chaque formule, le meilleur modèle de classe latente est sélectionné selon la qualité des modèles de classe latente estimée par le BIC (*Bayesian information Criterion*) et le AIC (*Akaike information criterion*).

Le choix du regroupement final utilisé pour la suite de l'analyse a été fait en comparant les groupes en fonction des connaissances antérieures sur la technologie des autobus et de la répartition des autobus analysés dans les groupes. Nous avons utilisé les règles suivantes pour sélectionner le modèle de classe latente final:

- Tous les groupes doivent être présents parmi les bus-types analysés.
- Les véhicules thermiques et les véhicules électriques ne doivent pas être dans le même groupe.
- Les véhicules les plus anciens ne doivent pas être dans le même groupe que les plus récents.
- Les modèles de bus appartenant à la même famille de modèle (p.ex. Volvo B 10M, comprenant le Volvo B 10 M à plancher bas, Volvo B 10 M 100 kW, Volvo B 10 M 201 kW, etc) doivent être dans le même groupe.

3.3. CAMPAGNE DE MESURES ET ANALYSE DES DONNÉES

Les nuisances choisies pour les mesures sont résumées dans le Tableau 1. Au total, nous avons retenu neuf paramètres pour déterminer les caractéristiques d'exposition aux nuisances du véhicule et les caractéristiques de sa conception, correspondant à des paramètres ergonomiques.

Les campagnes de mesures sont divisées en deux parties : les mesures statiques et les mesures dynamiques. Pour la phase dynamique, trois simulations d'itinéraires sont réalisées. La première correspond à un itinéraire urbain avec des arrêts toutes les 1 à 2 minutes et une vitesse maximale limitée à 50 km/h. Les deux autres sont des itinéraires régionaux avec des arrêts de bus toutes les 2 à 5 minutes et une vitesse limitée à 80 km/h.

Plusieurs campagnes de mesure sont menées pour collecter les données, qui sont ensuite traitées et analysées, et les doses pour une journée de travail sont calculées. Tous les résultats sont utilisés pour créer les modèles permettant l'imputation des valeurs d'exposition aux nuisances de la BEM.

Tableau 1. Choix des agents physiques et paramètres ergonomiques avec précision de l'appareil de mesure utilisé et du type de simulation

Polluant/ exposition	Éléments mesurés	Unité	Appareil de mesure	Type de simulation
Bruit	Bruit équivalent	dB(A)	Dosimètre 4448, Bruel & Kjaer	Dynamique
	Bruit de crête	dB(C)	Dosimètre 4448, Bruel & Kjaer	Dynamique
Vibrations	Vibration axes x, -y, -z	m/s ²	NOR136, Norsonic AS	Dynamique
Champs électromagnétiques	Champs électriques à basse fréquence ((5 à 100 kHz)	V/m	PMM 8053, PMM S.r.l	Statique
	Champ magnétique à basse fréquence (5 à 100 kHz)	μT	PMM S.r.l	Statique
	Champs électriques (100 kHz à 7 GHz)	V/m	PMM S.r.l	Dynamique
Ratio de PM ₁₀	PM ₁₀	PPM	pDR-1500, Thermo Fisher	Dynamique
Ratio de PUF	PUF	Nombre	DiSCmini, Testo AG	Dynamique
Taux d'échange de l'air	CO ₂	PPM	Testo 435-2, Testo AG	Statique
Paramètres ergonomiques	Dimensions	cm et mm	Ruban métrique	Statique
	Angle	°	Téléphone portable	Statique
	Luminance	cd/m ²	Mavo Spot 2 USB, Gossen	Statique

PUF= Particules ultrafines

3.2.1. CONTRASTE

La luminance des différents éléments rétroéclairés du tableau de bord et des différents appareils du bus (p.ex. ordinateur de bord) est mesurée à l'aide du photomètre Mavo-Spot 2 (Gossen). Le contraste (C_L) Équation 1 [46] et le ratio de luminance (R_L) Équation 2 [47] sont calculés à partir des valeurs de luminance mesurées. L'intégration des résultats dans les paramètres ergonomiques du design du poste de conduite, se fait en attribuant des points. Pour ce faire, les résultats sont comparés aux valeurs de contraste recommandées, soit : $C_L > 0.8$ [46] et dans l'intervalle de ratio conseillé [47], soit un ratio entre 3 et 40. Ensuite, les pourcentages de contraste et de ratio ne correspondant pas aux recommandations (non-respect des recommandations (NRR)) sont calculés. Les points sont attribués selon la règle suivante : 1 point par %NRR<5. Le maximum de points est de 2.

$$C_L = \frac{L_{\text{objet}} - L_{\text{fond}}}{L_{\text{fond}}} \text{ avec } L_i \text{ la luminance mesurée} \quad 1$$

$$R_L = \frac{L_{\text{objet}}}{L_{\text{fond}}} \text{ avec } L_i \text{ la luminance mesurée} \quad 2$$

3.2.2. TAUX DE RENOUVELLEMENT DE L'AIR

Le taux de renouvellement est calculé à l'aide de la méthode de décroissance de la concentration du gaz traceur CO₂ pour mesurer le taux de renouvellement de l'air [48]. Cette méthode consiste à injecter du CO₂ dans le bus (portes et fenêtres fermées, ventilation enclenchée avec prise d'air à l'extérieur), à fermer la porte et à mesurer la concentration de CO₂ jusqu'à ce qu'elle atteigne environ 600-800 ppm. Connaissant la concentration initiale de CO₂ (C_i) au temps 0 (t₀), la concentration minimale (C_m) après l'injection de CO₂, et le temps entre ces deux points (t₂), nous pouvons calculer le taux de renouvellement de l'air à l'aide des formules suivantes :

Ajustement de courbe exponentielle: $C(t) = C(t_1)e^{(-\lambda t)}$ avec λ le taux de renouvellement de l'air 2

Taux de renouvellement de l'air: $\lambda = -\frac{1}{t_2 - t_0} \ln \left(\frac{C(t_2)}{C(t_0)} \right)$ 3

3.2.3. BRUIT

Le bruit est mesuré à l'aide de deux dosimètres B&K 4448 (Bruel et Kjaer), l'un placé sur l'épaule du conducteur et l'autre fixé à proximité du conducteur. Les mesures sont effectuées séparément pour chaque simulation avec le dosimètre du conducteur, tandis que l'autre appareil mesure en continu. Pour chaque type de simulation, les moyennes du bruit équivalent pour 8h et du bruit de crête sont calculées en utilisant l'Équation 5.

Bruit : $B = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum 10^{L_i/10}}{\text{Nombre de points mesurés}} \right)$ avec L_i le niveau acoustique en dB(A) 4

3.2.4. POLLUTION AUX PARTICULES PM₁₀

La concentration de PM₁₀ a été mesurée dans la cabine du bus et à l'extérieur du bus avec des appareils pDR-1500 (Thermo-Fisher) pour chaque simulation. Le rapport entre la pollution intérieure et extérieure a été calculé pour chaque bus et chaque simulation. Nous avons choisi de calculer le ratio de PM₁₀ afin d'avoir une valeur indépendante du lieu et de la période des mesures. En connaissant le ratio et les valeurs de pollution historique, il est possible de retracer les valeurs d'exposition au PM₁₀ des conductrices de bus en multipliant le ratio par la concentration de PM₁₀.

3.2.5. POLLUTION AUX PARTICULES ULTRAFINES (PUF)

Le nombre de PUF a été mesuré dans la cabine et à l'extérieur du bus avec des appareils DiscMini (Thermo-Fisher) pour chaque simulation. Le rapport entre la pollution intérieure et extérieure a été calculé pour chaque bus et chaque simulation. Nous avons choisi de calculer le ratio de PUF afin d'avoir une valeur indépendante du lieu et de la période des mesures. En connaissant le ratio et les valeurs de pollution historique, il est possible de retracer les valeurs d'exposition au PUF des conductrices de bus en multipliant le ratio par la concentration de PUF.

3.2.6. CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Deux mesures différentes ont été effectuées à l'aide du PMM 8053 (PMM S.r.l. La première était une mesure statique des champs électromagnétiques à basse fréquence (5 à 100 kHz) (CEM-BF). La seconde était la mesure des champs électriques à des fréquences plus élevées (100 kHz à 7 GHz) (CE-HF) pendant les 3 simulations. Les moyennes ont été calculées en utilisant la méthode de régression robuste sur les statistiques d'ordre (ROS) [49]. Cette méthode permet d'évaluer les valeurs en dessous de la valeur de détection de l'appareil et de les intégrer aux mesures afin de les prendre en compte dans les statistiques descriptives.

3.2.7. VIBRATIONS DU CORPS ENTIER

Les vibrations du corps entier sont mesurées à l'aide de l'appareil Nor136 (Norsonic AS). Il permet de mesurer les vibrations conformément aux exigences de la norme ISO 8041. Les capteurs sont conçus pour une mesure triaxiale des vibrations. Un premier capteur est placé sur le siège du conducteur lors de chaque type de simulation. Ces mesures sont utilisées pour évaluer les vibrations subies par le conducteur. Un deuxième capteur est placé à la base du siège lors de chaque simulation. Ces deux mesures permettent d'évaluer l'efficacité de l'atténuation des vibrations du siège (en calculant l'amplitude transmissible effective du siège (Équation 6) [8].

$$SEAT\% = \frac{\text{Vibrations du siège}}{\text{Vibrations du socle}} * 100 \quad 5$$

L'exposition journalière aux vibrations pour les trois axes x, y et z ($A_x(8)$, $A_y(8)$ et $A_z(8)$) est calculée pour chaque type de simulation en utilisant les Équations 7 à 9 [50] avec l'hypothèse que sur une journée de travail, le conducteur va être à bord du bus pendant 7.5 heures. La plus haute valeur de $A_x(8)$, $A_y(8)$ et $A_z(8)$ est la valeur d'exposition journalière aux vibrations.

$$A_x(8) = 1.4 * a_{wx} \sqrt{T^{exp}/T_0} \quad 6$$

$$A_y(8) = 1.4 * a_{wy} \sqrt{T^{exp}/T_0} \quad 7$$

$$A_z(8) = a_{wz} \sqrt{T^{exp}/T_0} \quad 8$$

Avec T_{exp} étant la durée d'exposition aux vibrations, T_0 le temps total de travail, mis par convention à 8h afin de pouvoir comparer les valeurs à l'échelle internationale et a_{wi} étant la moyenne quadratique des valeurs d'accélération, correspondant aux vibrations.

3.2.8. CONCEPTION DE LA CABINE DES CONDUCTEUR·TRICES D'AUTOBUS

Dans ce projet, nous avons évalué la conception du poste de travail des conducteur·trices afin de déterminer si les conducteurs ont la possibilité d'avoir un poste de travail adapté à leurs besoins et morphologie. Les éléments étudiés sont résumés dans le Tableau 2 et le formulaire se trouve en annexe (annexe A.3).

Tableau 2. *Éléments pris en compte dans l'évaluation du poste de conduite des conducteur·trices de bus*

Éléments étudiés	Type de critères	Nombre de critère
Siège	Dimensions, support lombaire, suspensions, réglages	14
Volant	Diamètre, réglages	5
Pédales	Angles, accessibilité	3
Tableau de bord	Accessibilité, design, contraste	7
Espace de travail	Accessibilité, dimensions, visibilité, chauffage, climatisation	6

Sur les 33 critères retenus, 24 sont mesurables, 3 sont vérifiés avec l'aide du conducteur qui effectue des tâches spécifiques telles que l'accès à la caisse pour les ventes à bord, et les 6 critères restants sont subjectifs. Ces 6 critères sont évalués avec l'aide du conducteur, en utilisant des photos prises depuis le siège du conducteur pour comparer les véhicules en cas de doute. Tous les résultats sont présentés sous la forme d'un questionnaire "oui/non". Les réponses sont ensuite transformées en sept scores : global, visuel, biomécanique, épaule-cou, membres supérieurs, dos, membres inférieurs. Ceux-ci sont calculés en divisant le nombre de "oui" obtenus par le nombre de critères de chaque score. La séparation des paramètres dans les différents scores a été effectuée en collaboration avec un ergonomiste d'Unisanté.

Les différents paramètres pris en compte sont basés sur des normes, des guides et des articles de prévention pour les professions liées à la position assise et à la conduite de véhicules [14, 50, 51].

3.2.9. ANALYSE STATISTIQUE

Pour évaluer l'évolution de l'exposition en fonction de l'évolution technologique, nous avons effectué une analyse de régression linéaire en nous intéressant principalement aux trois différents types de motorisation : thermique, hybride et électrique. Les résultats ont été présentés sous la forme d'un ratio des côtes (en anglais, *odds ratio*, *OR*) et d'un intervalle de confiance à 95% (95% CI).

3.4. MATRICE BUS - EXPOSITIONS

La BEM a été construite en combinant les résultats de l'analyse de l'inventaire et de la campagne de mesures. L'attribution de valeurs d'exposition aux véhicules non mesurés a été réalisée en développant des modèles de régression linéaire bayésienne à l'aide du package *brms* [52, 53] et du logiciel open source R, version 4.2.3 [43]. Ce processus se fait en plusieurs étapes : 1) création de modèles bayésiens, 2) sélection des modèles bayésiens à tester, 3) test d'efficacité prédictive de modèles bayésiens sélectionnés. Cette méthode exige de séparer les bus-types en deux groupes : les bus d'entraînement (60% des bus-types) qui sont utilisés pour développer le modèle bayésien et les bus tests (40% des bus-types) pour tester le modèle bayésien développé. Il est nécessaire d'inclure au moins un véhicule de chaque classe latente, de chaque type de motorisation et de chaque position de moteur dans le groupe des bus d'entraînement. Les paramètres à inclure dans les modèles bayésiens ont été choisis à l'aide des graphiques, inspirés de GADs [45] mettant en évidence les caractéristiques techniques des bus susceptibles d'influencer une exposition donnée. Plusieurs modèles bayésiens ont été créés pour chaque exposition et comparés afin de conserver les meilleurs modèles bayésiens, c'est-à-dire ceux qui expliquent le mieux la différence entre les valeurs mesurées de chaque bus-type. Une première sélection de modèles bayésiens est faite en se basant sur la validation croisée approximative avec la fonction *loo*. Cette fonction permet la comparaison entre plusieurs modèles bayésiens afin de déterminer lequel est le meilleur d'un point de vue mathématique. Les modèles bayésiens ainsi développés et sélectionnés sont ensuite appliqués sur le jeu de données de mesures des bus tests en vue de leur validation. Pour cela une régression linéaire est réalisée afin de tester la qualité prédictive des modèles bayésiens appliqués par rapport aux valeurs de mesures réelles. Le choix du modèle bayésien final se fait sur la base du coefficient de détermination (R^2)². On garde le modèle bayésien avec le coefficient le plus élevé. Enfin, le modèle bayésien validé est appliqué à tous les véhicules de l'inventaire suisse (hormis les minibus qui ont une structure différente des bus-types choisis) pour modéliser les valeurs d'expositions correspondantes en fonction de paramètres des différents bus. Les inclure ajouterait trop d'incertitude et des risques d'erreurs d'imputation d'expositions.

Par la suite, en connaissant la composition du parc de bus suisse en termes de type de motorisation depuis 1970, il est possible de modéliser l'évolution des différentes expositions depuis 1970 jusqu'à 2020 et d'ajouter trois scénarios pour la composition de la flotte de bus en 2035 en se basant sur le Rapport fédéral [54].

4. Résultats

4.1. ÉTUDE TRANSVERSALE RÉPÉTÉE

4.1.1. LES PARTICIPANT·ES

Le questionnaire 2022 a été envoyé à plus de 4000 conducteur·trices affilié·es à un des trois syndicats. Au total, 916 conducteur·trices y ont répondu, soit un taux de réponse de 21%. Le Tableau 3 résume les caractéristiques sociodémographiques des questionnaires 2010, 2018 et 2022.

² Nombre entre 0 et 1 mesurant l'efficacité d'un modèle statistique à prédire un résultat, plus le nombre est proche de 1, plus le modèle statistique prédit efficacement un résultat

En étudiant la proportion de conductrices, on constate qu'il y a près de trois fois de plus de femmes en 2022 qu'en 2010, en effet ce taux est passé de 4.7% en 2010 à 14.1%. De plus, l'âge moyen des participant·es est similaire entre les trois questionnaires, cela correspond à 46.4 (± 9.0) ans en 2010, 45.7 (± 13) ans et 47.4 (± 10.1) ans en 2022. La répartition géographique montre que la majorité des participant·es vivent dans des régions francophones (Région lémanique et Espace Mitteland) lors des trois vagues de questionnaire. Contrairement aux questionnaires 2010 et 2018, des participant·es vivent à Zürich, permettant ainsi de couvrir la totalité des régions suisses.

Tableau 3. Informations sociodémographiques des participant·es aux enquêtes 2010, 2018 et 2022

	2010		2018		2022	
	Syndicat 1		Syndicat 1		Syndicat 1 & 2 & 3	
	n	%	n	%	n	%
Total	772	100	393	100	916	100
Genre						
Homme	715	92.6	343	87.3	772	84.3
Femme	36	4.7	32	8.1	129	14.1
Manquant	21	2.7	18	4.6	15	1.6
Groupe d'âge		0.0		0.0		
≤35	104	13.5	60	15.3	125	13.6
36-45	220	28.5	97	24.7	199	21.7
46-55	296	38.3	134	34.1	307	33.5
≥56	118	15.3	89	22.6	253	27.6
Manquant	21	2.7	13	3.3	32	3.5
Régions						
Espace Mitteland	282	36.5	101	25.7	298	32.5
Suisse du Nord-Ouest	50	6.5	3	0.8	63	6.9
Suisse orientale	48	6.2	4	1.0	60	6.6
Région lémanique	215	27.8	164	41.7	228	24.9
Tessin	58	7.5	51	13.0	104	11.4
Suisse Centrale	99	12.8	7	1.8	85	9.3
Zurich	0	0.0	0	0.0	60	6.6
Manquant	20	2.6	63	16.0	18	2.0

4.1.2. PROBLÈMES DE SANTÉ, ARRÊT-MALADIE, ACCIDENT ET APTITUDE À LA CONDUITE

La

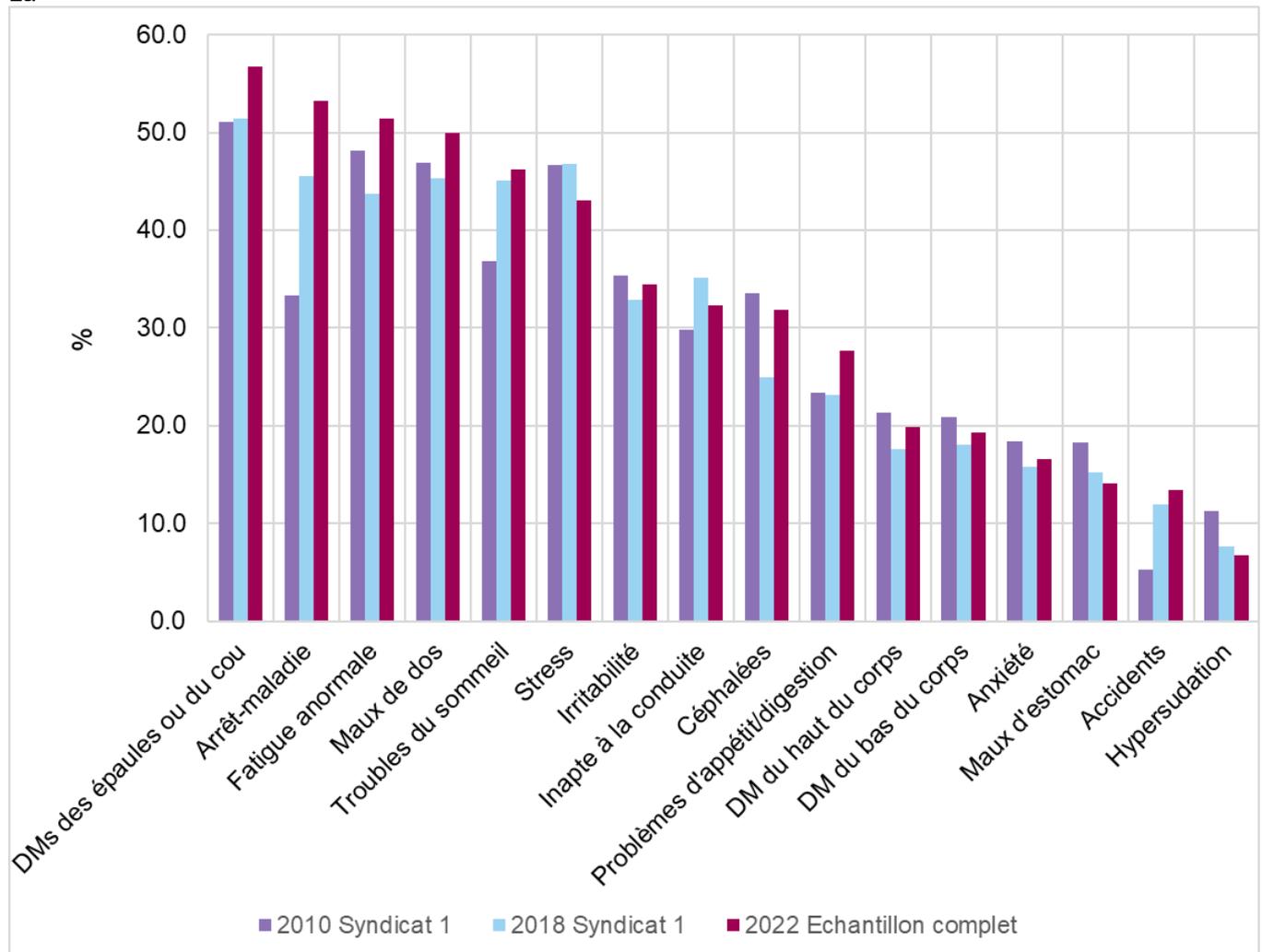


Figure 5 résume les prévalences de problèmes de santé des conducteur-trices en 2010, 2018 et 2022. Les douleurs musculaires des épaules ou du cou (51% en 2010, 51.4% en 2018 et 56.7% en 2022) sont les problèmes de santé le plus souvent mentionnés lors des trois questionnaires. Ils sont suivis par la fatigue anormale pour les questionnaires 2010 et 2022 (48.2% et 51.4%, respectivement). Cependant, en 2018 le deuxième problème de santé le plus reporté est stress (46.8%). Le troisième problème de santé le plus mentionnés dans les trois questionnaires sont les maux de dos (46.9% en 2010, 45.3% en 2018 et 50.0% en 2022). Concernant les arrêts-maladies, on constate une augmentation depuis 2010 (33.3% en 2010, 45.5% en 2018 et 53.2% en 2022). La même constatation est la même pour les accidents (12.0% en 2010, 12.0% en 2018 et 13.4% en 2022). Cependant, la prévalence des conducteur-trices conduisant en étant inapte à la conduite est de 29.8% en 2010, 32.3% en 2018 et 32.3% en 2022. En 2022, les raisons les plus signalées pour la conduite en étant inapte est la fatigue, le manque de sommeil et les douleurs.

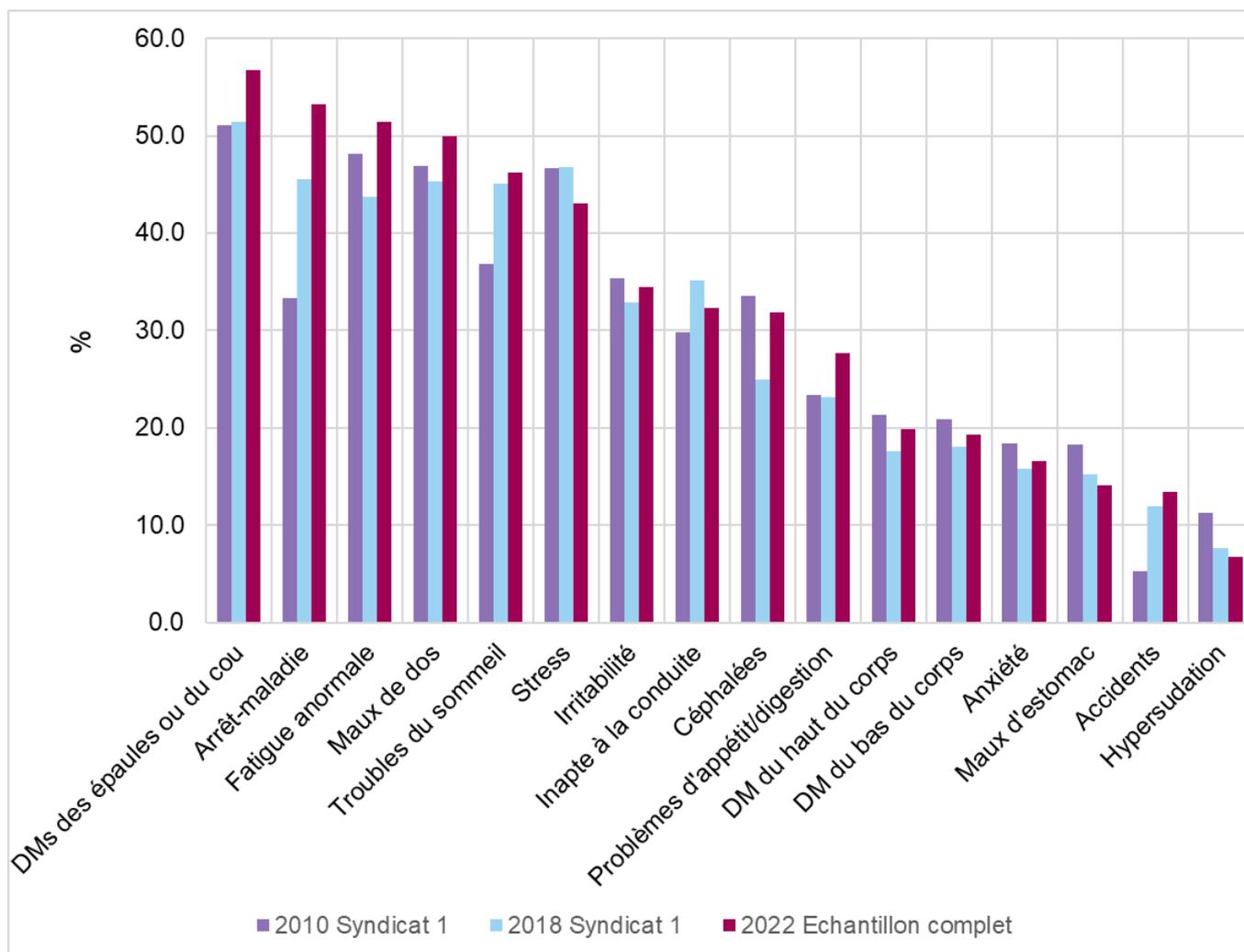


Figure 5. Prévalence de problèmes de santé, accident, et de conducteur-trices ayant déjà conduit en étant inapte à la conduite, comparaison entre 2010, 2018 et 2022. DM : douleurs musculaires

Le Tableau 4 permet d'analyser l'évolution des problèmes de santé, arrêt-maladie, accident et aptitude à la conduite en ajustant pour le sexe, l'âge et la région. Il s'avère que les prévalences des troubles du sommeil (OR=1.39 (1.08, 1.79)), des arrêts-maladies (OR=2.10 (1.62, 2.71)) et des accidents (OR=2.36 (1.47, 3.78)) ont augmenté en 2022 en comparaison avec 2010. De plus, la prévalence de douleurs musculaires des épaules et du cou (OR=1.38 (1.03, 1.87)) a augmenté en 2022 en comparaison à 2018. Cependant, il y a tout de même des améliorations dans l'état de santé global des conducteur-trices de bus. En comparaison avec 2010, la prévalence de céphalée (OR=0.67 (0.51, 0.88)) et d'hypersudation (OR=0.44 (0.28, 0.71)) a diminué en 2022. De plus, une baisse de la prévalence de l'anxiété (OR=0.66 (0.46, 0.96)) est constatée en 2018 en comparaison avec 2010.

La fatigue anormale, les douleurs musculaires des membres supérieurs et inférieurs, les maux de dos, les maux d'estomac, le stress, l'irritabilité, les troubles de l'appétit et de la digestion ainsi que conduire en étant inapte n'ont pas montré d'évolution significative lors des douze dernières années.

Tableau 4. Evolution des problèmes de santé, arrêt-maladie, accident et aptitude à la conduite, comparaison entre 2010-2018, 2010-2022 et 2018-2022

	2010-2018			2010-2022			2018-2022		
	OR	95% CI	P-value	OR	95% CI	P-value	OR	95% CI	P-value
Problème de santé									
Fatigue anormale	0.79	0.59, 1.04	0.092	0.99	0.77, 1.27	0.940	1.26	0.94, 1.69	0.123
Douleurs musculaires des épaules et du cou	0.83	0.62, 1.10	0.187	1.14	0.89, 1.47	0.300	1.38	1.03, 1.87	0.034
Douleurs musculaires des membres supérieurs	0.72	0.50, 1.02	0.067	0.84	0.61, 1.14	0.256	1.16	0.80, 1.69	0.426
Douleurs musculaires des membres inférieurs	0.75	0.52, 1.07	0.110	0.98	0.72, 1.33	0.890	1.31	0.91, 1.89	0.153
Maux de dos	0.84	0.63, 1.11	0.220	0.97	0.75, 1.24	0.802	1.15	0.86, 1.55	0.340
Céphalée	0.58	0.42, 0.79	0.001	0.67	0.51, 0.88	0.004	1.15	0.82, 1.61	0.404
Maux d'estomac	0.87	0.60, 1.27	0.475	0.84	0.60, 1.17	0.303	0.96	0.64, 1.43	0.846
Stress	0.83	0.62, 1.10	0.187	0.86	0.67, 1.11	0.258	1.05	0.78, 1.41	0.772
Anxiété	0.66	0.46, 0.96	0.031	0.80	0.58, 1.12	0.195	1.21	0.82, 1.8	0.342
Irritabilité	0.90	0.67, 1.2	0.465	1.00	0.77, 1.30	0.985	1.12	0.82, 1.52	0.476
Troubles du sommeil	1.38	1.04, 1.84	0.026	1.39	1.08, 1.79	0.012	1.00	0.75, 1.35	0.983
Troubles de la digestion et de l'appétit	0.89	0.64, 1.24	0.500	1.06	0.80, 1.42	0.674	1.19	0.84, 1.68	0.319
Hypersudation	0.50	0.3, 0.84	0.008	0.44	0.28, 0.71	0.001	0.88	0.49, 1.59	0.677
Arrêt-maladie, accident et aptitude à la conduite									
Arrêt-maladie	1.42	1.06, 1.89	0.018	2.10	1.62, 2.71	<0.001	1.48	1.10, 2.00	0.010
Accident	2.67	1.61, 4.45	<0.001	2.36	1.47, 3.78	<0.001	0.88	0.56, 1.40	0.594
Inapte à la conduite	1.22	0.90, 1.64	0.202	0.94	0.72, 1.24	0.670	0.77	0.56, 1.06	0.114

Modèle ajusté pour l'âge, le sexe et la région. Les résultats statistiquement significatifs figurent en gars

4.1.3. LES CONDITIONS DE TRAVAIL

Les scores de pénibilité de douze conditions de travail sont résumés à la Figure 6 pour 2022, ils ne sont pas présentés ici pour les questionnaires de 2010 et 2018. La condition de travail la plus pénible est l'amplitude de travail de plus de 10 heures (3.4), suivi du comportement des cyclistes (3.3) et les longues périodes sans accès aux toilettes (3.2). A noter que tous les scores se trouvent entre peu pénible (2) et très pénible (4).

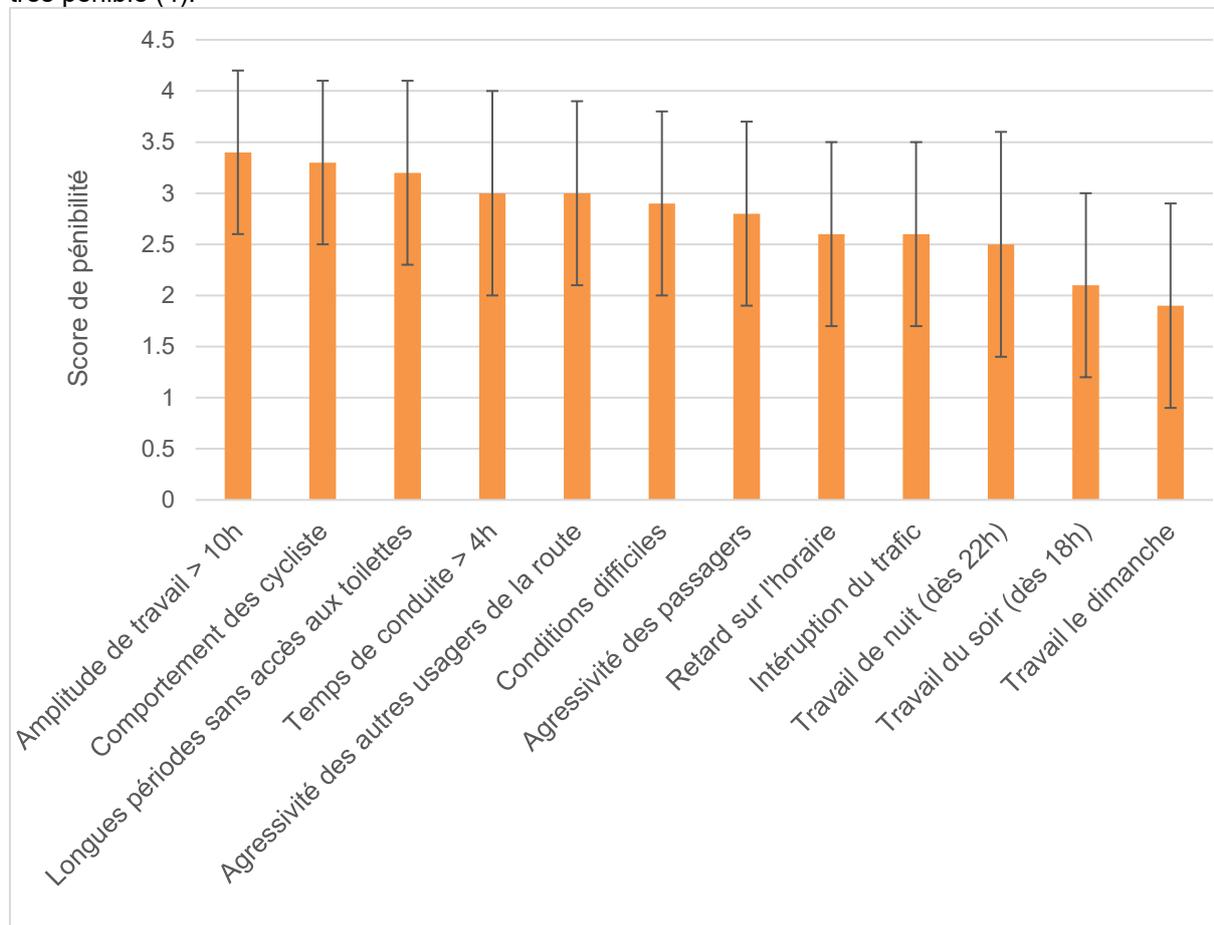


Figure 6. Score de pénibilité des conditions de travail (données de 2022 uniquement)

En 2022, à la question sur l'ambiance de travail, 62% des participant-es ont indiqué apprécier avoir un emploi assuré, 53.5% sont satisfait de la solidarité des travailleur-euses et 41.6% sont satisfait de la liberté et indépendance de leur travail. L'appréciation de l'ambiance au travail est résumée à la Figure 7.

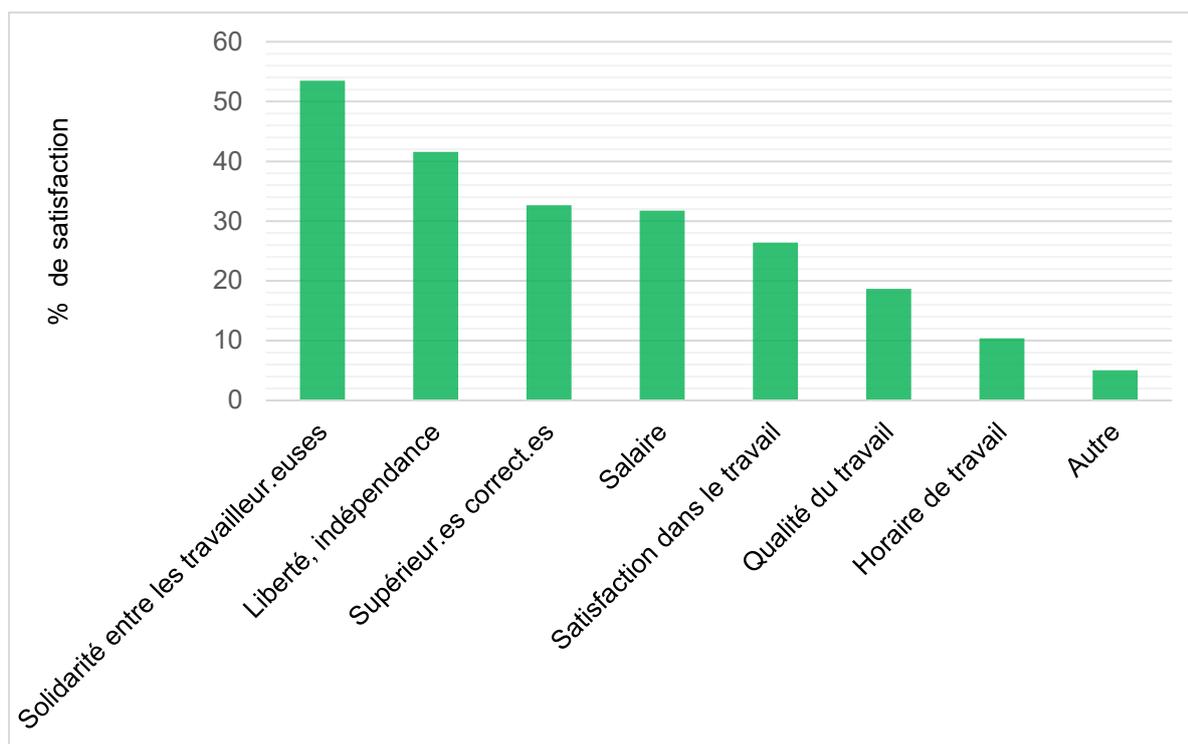


Figure 7. Appréciation des conducteur-trices de bus quant à leur ambiance au travail

La Figure 8 résume les impacts du SRAS-CoV-2 sur les conditions de travail des conducteur-trices de bus et leur appréciation quant à la gestion de la crise par leur entreprise. Concernant les impacts du SRAS-CoV-2 sur les conditions de travail, 58.3% des conducteur-trices ont dû remplacer leur collègue à court terme, 42% des participant-es ont fait des heures supplémentaires et 41.3% ont ressenti des répercussions sur leur santé. Cependant plus de deux tiers des conducteur-trices ont reporté que leurs entreprises ont réagi rapidement (67.6%), une bonne application des concepts de protection (68.9%) et il-elles se sont senti-es suffisamment protégé-es. Malgré cela, la moyenne des notes données aux entreprises pour leur gestion de la crise est de 4.1.

Le Tableau 5 met en avant l'évolution des conditions de travail de la dernière décennie. Les seules conditions de travail non citées comme plus pénible en 2022 qu'en 2010 sont le travail du soir et le travail du dimanche. Les dix autres conditions de travail sont considérées comme plus pénible, ce qui indique une péjoration des conditions de travail.

Tableau 5. Evolution des conditions de travail ajustées pour l'âge, le sexe, l'ancienneté et la région, comparaison entre 2010 -2018, 2010- 2022, et 2018 -2022

	2010-2018			2010-2022			2018-2022		
	OR	95% I.C.	P-va-lue	OR	95% I.C.	P-va-lue	OR	95% I.C.	P-va-lue
Amplitude de travail de plus de 10 heures	1.33	1.18, 1.49	<0.001	1.20	1.07, 1.33	0.001	1.10	0.97, 1.24	0.154
Comportement des cyclistes	1.15	1.01, 1.32	0.041	0.98	0.87, 1.11	0.796	1.17	1.01, 1.35	0.032
Longues périodes sans accès aux toilettes	1.30	1.14, 1.49	<0.001	1.42	1.26, 1.59	<0.001	0.92	0.8, 1.05	0.221
Temps de conduite de plus de 4 heures	1.36	1.19, 1.56	<0.001	1.22	1.08, 1.38	0.001	1.10	0.95, 1.27	0.198
Agressivité des autres usager·ères de la route	1.34	1.16, 1.54	<0.001	1.19	1.05, 1.35	0.007	1.12	0.96, 1.29	0.148
Conditions de conduite difficiles	1.57	1.38, 1.8	<0.001	1.39	1.23, 1.56	<0.001	1.12	0.97, 1.29	0.125
Client·es/passager·ères agressifs	1.43	1.24, 1.65	<0.001	1.39	1.22, 1.58	<0.001	1.03	0.88, 1.2	0.740
Retard sur l'horaire	1.72	1.49, 1.99	<0.001	1.58	1.39, 1.8	<0.001	1.08	0.93, 1.26	0.330
Interruption du trafic	1.74	1.52, 2.01	<0.001	1.47	1.3, 1.66	<0.001	1.18	1.02, 1.37	0.028
Travail de nuit (dès 22h)	1.17	0.99, 1.38	0.066	1.18	1.02, 1.37	0.027	0.99	0.83, 1.18	0.923
Travail du soir (dès 18h)	1.16	1.00, 1.34	0.055	1.11	0.98, 1.27	0.106	1.04	0.89, 1.22	0.606
Travail du dimanche	1.08	0.93, 1.25	0.321	1.15	1.01, 1.32	0.036	0.93	0.79, 1.09	0.361

Modèle ajusté pour l'âge, le sexe, l'ancienneté, et la région. Les résultats statistiquement significatifs figurent en gars

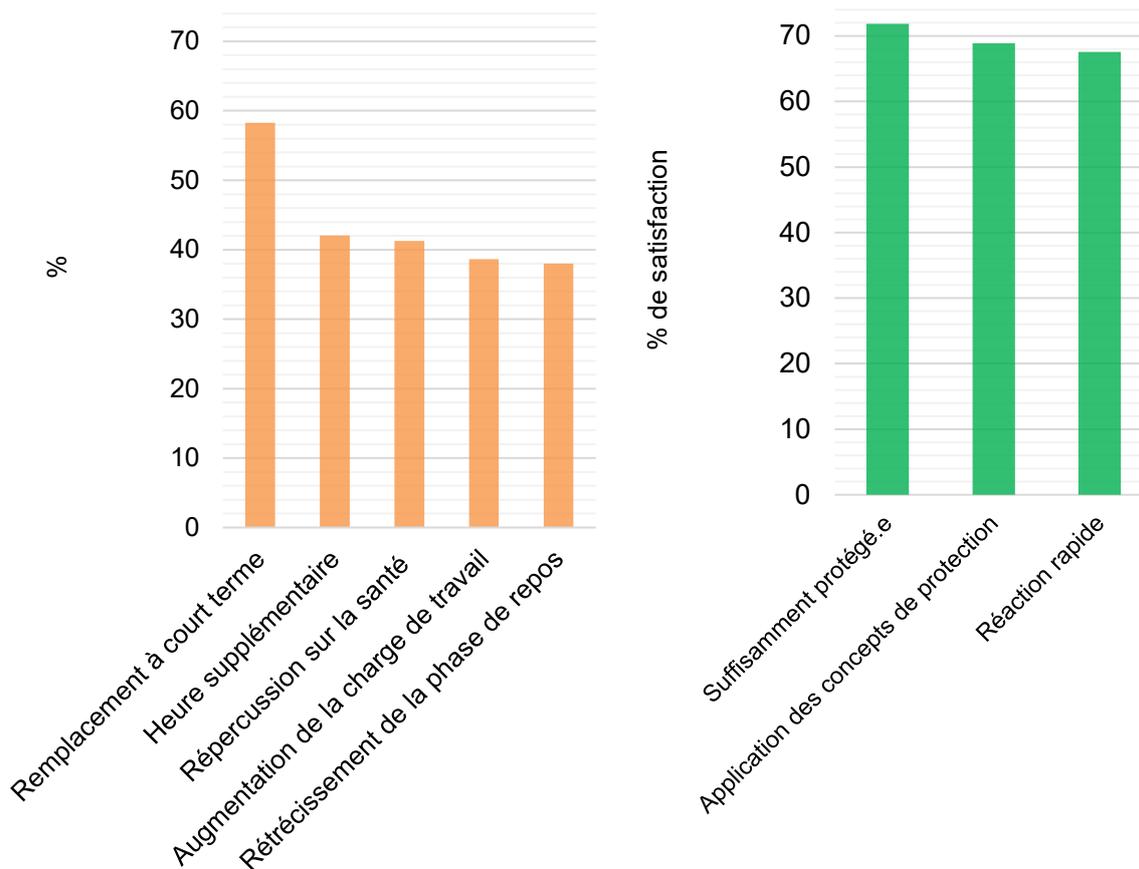


Figure 8. A gauche, pourcentage des conducteur-trices ayant reporté un impact du SARS-CoV-2 sur leurs conditions de travail. A droite, leur appréciation de la gestion de la crise sanitaire

4.1.4. PARTICIPATION À UNE FUTURE ENQUÊTE

Près de trois-quarts des conducteur-trices de bus (74.1%) seraient favorables à participer à une future étude sur leurs conditions de travail et leur santé. De plus, près de deux-tiers des participant-es (60.6%) accepteraient de fournir des données médicales. Cependant, des participant-es seraient plus réticents de communiquer leur numéro AVS pour le croisement de données, indiquant la nécessité de bien expliquer le besoin de cette donnée.

4.2. INVENTAIRE DES BUS

En ne gardant que les véhicules ayant pu être en circulation entre 1980 et 2022, 1116 modèles de bus ont été recensés. Leur répartition selon le gabarit et le type de motorisation est résumée au Tableau 6. La grande majorité (70%) des véhicules sont des bus standard (11-15 m) ou midi (7-10m) thermique, suivi des mini bus thermiques (15%). Cependant, cette répartition ne correspond pas à la répartition du nombre de bus en circulation en Suisse. En effet, bien qu'il ait existé seulement 52 (5%) modèles différents de bus articulés thermiques, ces derniers sont le deuxième type de bus le plus présent sur les routes suisses [54].

Tableau 6. Composition de l'inventaire de bus en Suisse selon le type de motorisation (ligne) et le gabarit du bus (colonne)

	A imperial ¹	Articulé ²	Biarticulé ³	Mini ⁴	Solo-midi ⁵	Total
Bimode	0	3	0	0	2	5
Électrique	0	4	1	2	14	21
Hybride	0	7	0	0	23	30
Thermique	14	52	1	163	781	1011
Trolley	0	25	4	0	20	49
Total	14	91	6	165	840	1116

¹ A impérial : bus à deux étages pouvant transporter entre 70 et 100 passagers

² Articulé : bus de 17 à 20 m avec une articulation (axe de pivotement) pouvant transporter jusqu'à 150 passagers

³ Biarticulé : bus de 24 à 30 m avec deux articulations (axe de pivotement) pouvant transporter jusqu'à 200 passagers

⁴ Mini : bus d'une longueur inférieur à 8 m pouvant transporter jusqu'à 30 passagers

⁵ Solo-midi : bus de 8 à 13 m composé pouvant transporter jusqu'à 100 passagers

La typologie des bus faite sur la base du type de motorisation, le type de boîte de vitesse, l'emplacement du moteur et le type d'assistance à la conduite est présentée à la Figure 9. Cette typologie se focalise sur les bus solo et midi, car ces derniers représentent la majorité des véhicules en Suisse. De plus, la conception de la majorité des bus articulés se base sur le modèle de bus solo équivalent. Ils ont par conséquent la même cabine de conduite et les mêmes technologies. Au total, 27 types de véhicules ont été présents sur les routes suisses. A noter que tous les véhicules encore en circulation en 2022 ont une assistance à la conduite. De nos jours, le type de véhicule le plus courant est un bus thermique avec une boîte de vitesse automatique, un moteur à l'arrière et une assistance hydraulique.

La Figure 10 résume l'évolution technologique des bus et trolleybus depuis les années 1940 jusqu'à 2022. L'histoire des bus suisses a commencé avec des trolleybus avec moteur auxiliaire thermique de marques suisses. Moins d'une décennie après, on trouve les bus thermiques manuels à moteur à mazout qui se trouve à l'avant, également de marques suisses. Assez rapidement se développe la boîte de vitesse semi-automatique, puis automatique. De plus, le carburant se diversifie pour devenir du diesel puis du gaz naturel. Dès le début des années 1950, les nouveaux bus sont équipés de l'assistance hydraulique. Ensuite, le moteur recule pour aller d'abord au milieu du véhicule puis à l'arrière du véhicule. Les modèles articulés commencent à arriver dès la fin des années 1950, d'abord chez les trolleybus puis chez les véhicules thermiques. Les années 1970 marquent l'arrivée des marques étrangères, suédoises entre autres, sur le sol suisse. Ces nouvelles marques apportent un nouveau type de véhicule : les bus à impériale, mais aussi le déclin des marques suisses. A la fin des années 1970, de premières mesures sont prises pour diminuer le niveau de bruit, les compartiments moteurs sont alors insonorisés. Les années 1980 sont marquées par l'expérience des véhicules bimode, c'est-à-dire des véhicules qui ont à la fois un moteur électrique comme les trolleybus, mais aussi un deuxième moteur diesel. Pendant cette décennie, on trouve de nouvelles technologies comme l'ABS (système antiblochage des roues permettant de diminuer le dérapage lors de freinage intense) et la climatisation, mais il s'agit également de la mise en place de la première norme EURO qui a pour but de limiter la pollution émise par les véhicules. Les normes EURO se succèdent pendant les années 1990, 2000 et 2010. Durant les années 2000, une nouvelle boîte de vitesse est mise en place : la boîte robotisée (système de transmission hybride entre la boîte de vitesse manuelle et automatique). Les années 2010 sont une décennie riche en évolution technologique. Le début des années 2010 est marqué par l'arrivée de bus hybride, possédant à la fois un moteur électrique et un moteur thermique, généralement diesel, mais des versions à gaz naturel existent. Depuis, les véhicules hybrides ont évolué pour s'améliorer. A la même période, des aides à la conduite sont développées pour les bus. Ces aides incluent l'assistance de régulation de distance active et le système électronique de stabilité (ESP) permettant de stabiliser la trajectoire du véhicule lors de situation critique comme un dérapage ou un risque de renversement du véhicule dans un virage. Dans les années qui ont suivi, on voit l'arrivée des trolleybus 100% électriques fonctionnant avec des batteries. Ensuite, les premiers bus électriques sont mis sur le marché. Cette nouvelle technologie n'est toutefois pas si nouvelle, car des bus électriques existaient déjà en Suisse, à Zermatt, dès 1988, cependant, ils étaient bien moins puissants que les véhicules actuels, et

atteignaient maximum 20 kilomètres à l'heure (jusqu'à 100 kilomètres à l'heure pour les véhicules récents). Ces bus ont été créés pour Zermatt et non commercialisés à grande échelle, c'est pour cela que nous ne les considérons pas comme nouvelle technologie à la fin des années 1980. Ces premiers e-bus sont encore en circulation. En même temps, il y a la mise en place de l'assistance électrohydraulique qui remplace sur certains véhicules l'assistance hydraulique, technologie ayant été améliorée, mais non changée depuis un demi-siècle.

Le choix des dix modèles-types a été fait en collaboration avec des experts en bus et a été un compromis entre l'évolution technologique qu'ils représentent et leur popularité sur les routes suisses. Il a également été décidé de ne prendre que des véhicules ayant été en circulation pendant les années 1980 pour les bus les plus anciens de notre sélection et d'avoir au moins 1 bus par décennie. Le Tableau 7 récapitule les caractéristiques des dix bus sélectionnés. Cette sélection a été validé par l'OFT et l'Union des transports publics (UTP) en février 2022. Elle inclut deux bus thermiques avec boîte de vitesse semi-automatique et moteurs au centre, deux bus thermiques avec boîte de vitesse automatique et moteurs au centre, trois bus thermiques avec boîte de vitesse automatique et moteurs à l'arrière, deux bus hybrides et un bus électrique. Cette répartition représente bien l'évolution de la flotte de bus suisse depuis 1980.

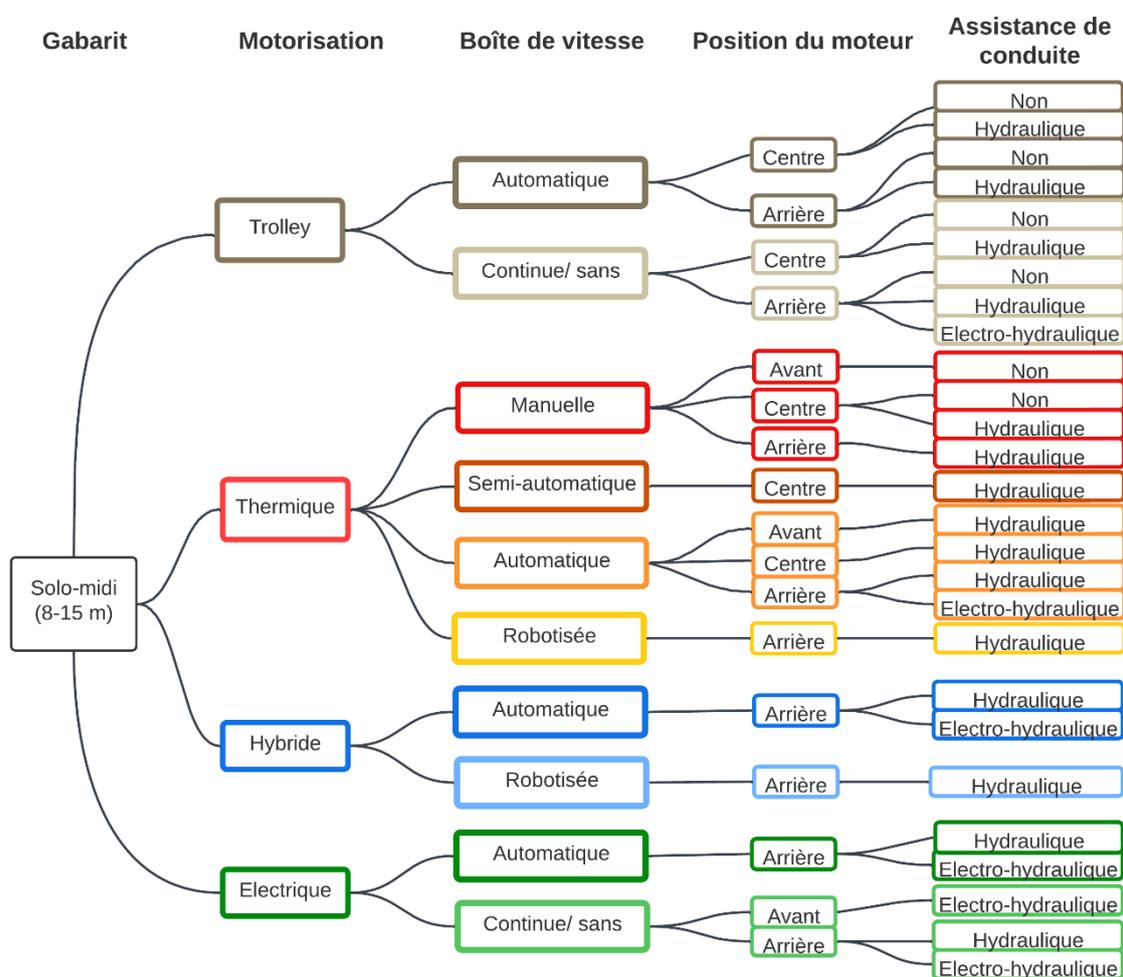
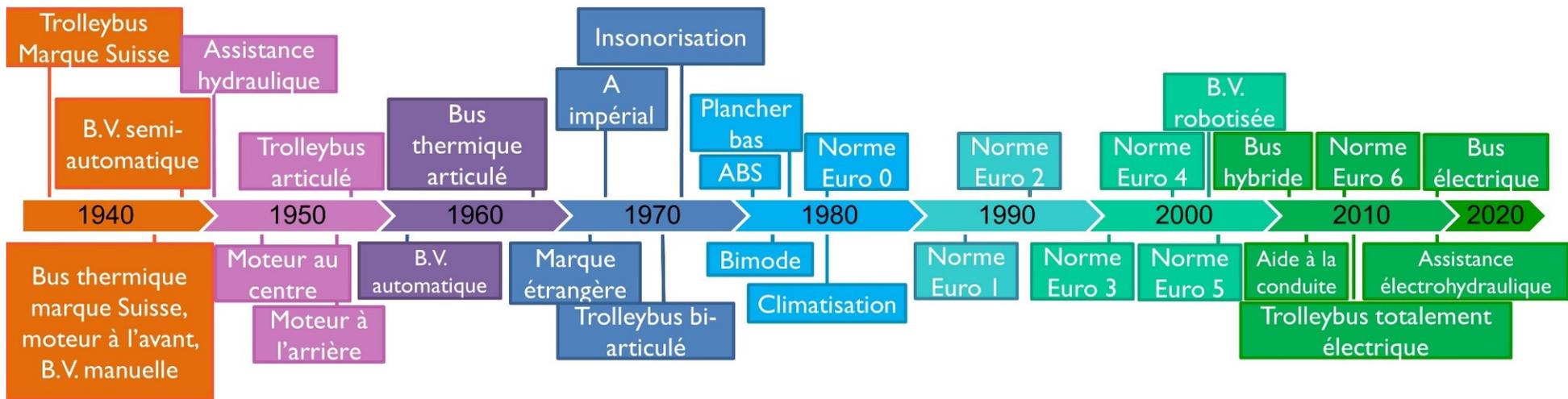


Figure 9. Typologie des bus en Suisse, focus sur les véhicules de gabarit standard et midi (Créée avec Lucidchart, www.lucidchart.com)



B.V.= Boîte à vitesse

Figure 10. Frise temporelle de l'évolution technologique des bus en Suisse depuis 1940 à 2022

Tableau 7. Tableau récapitulatif des caractéristiques des bus-types choisis pour les campagnes de mesures

Marque	Modèle	Type	Mise en circulation	Boîte à vitesse	Position du moteur	Suspension	Direction assistée	Insonorisation du moteur	Plancher bas
Volvo	B58	Thermique	1970	Semi-automatique	Centre	À lame, pneumatique	Hydraulique	non	non
FBW	typ 50 U	Thermique	1976	Semi-automatique	Centre	Pneumatique	Hydraulique	non	non
Volvo	B 10 M	Thermique	1981	Automatique	Centre	Pneumatique	Hydraulique	oui	non
Van Hool	A308(L)	Thermique	1997	Automatique	Centre	Pneumatique	Hydraulique	oui	oui
Mercedes-Benz	O 405 N generation 2	Thermique	1997	Automatique	Arrière	Pneumatique	Hydraulique	oui	non
MAN	Lion's City M NM 293	Thermique	2009	Automatique	Arrière	Pneumatique	Hydraulique	oui	oui
Mercedes-Benz	Citaro Hybrid	Hybride	2018	Automatique	Arrière	Pneumatique	Electrohydraulique	oui	oui
Mercedes-Benz	Citaro LEü phase 2	Thermique	2018	Automatique	Arrière	Pneumatique	Electrohydraulique	oui	oui
Solaris	Urbino 8.9 LE électrique	Électrique	2019	Continue/sans	Arrière	Pneumatique	Hydraulique	non	oui
MAN	Lion's City 12 C Efficient Hybrid	Hybride	2019	Automatique	Arrière	Pneumatique	Hydraulique	oui	oui

Dû à des limites techniques, l'analyse de modèle par classe latente s'est faite uniquement sur les bus de gabarit solo-midi dont l'inventaire est complet. Cela correspond à 784 véhicules de l'inventaire, soit 70.25%. L'analyse de modèle par classe latente a permis de séparer l'inventaire des bus en quatre groupes basés sur le type de motorisation, la boîte de vitesse, la position du moteur, l'insonorisation, la suspension, l'amortisseur, l'assistance et la période de mise en circulation. Les caractéristiques principales de chaque groupe est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8. Caractéristiques et répartition des classes latentes pour les véhicules solo-midi.

Caractéristiques	Classe latente 1	Classe latente 2	Classe latente 3	Classe latente 4
Motorisation	Thermique	Thermique	Thermique	Hybride Electrique
Boîte de vitesse	Automatique Manuelle	Tout type	Automatique Manuelle	Tout type
Position du moteur	Arrière	Centre	Arrière	Arrière
Insonorisation (oui/non)	Oui	Non	Oui	Oui, si nécessaire
Suspension	Pneumatique	Pneumatique A ressort	Pneumatique	Pneumatique
Amortisseur (oui/ non)	Oui	Non Oui	Oui	Oui
Assistance	Hydraulique	Non Hydraulique	Hydraulique	Hydraulique Electrohydraulique
Période	2000-	1940-début des années 1980	Fin des années 1970- début des années 2000	2010-
Proportion dans l'inventaire (%)	54	7	34	5

En ayant les caractéristiques de chaque classe, il a été possible d'imputer la classe latente aux véhicules n'en ayant pas. La répartition finale dans chaque classe latente est la suivante : 27% des véhicules dans la classe latente 1, 10% dans la classe latente 2, 53% dans la classe latente 3 et 10% dans la classe latente 4.

4.3. CAMPAGNE DE MESURE

4.3.1. SCORE D'ERGONOMIE DU POSTE DE CONDUITE

La Figure 11 résume les scores du design de poste de conduite pour chaque bus-types. Les modèles de bus sont classés dans l'ordre de mise en circulation afin de visualiser l'évolution des scores. Par exemple, le FBW typ 50U est un modèle mis en circulation dès les années 1960, mais le bus testé a été mis en circulation seulement en 1976. Pour tous les scores excepté le score de bas du corps, on constate une amélioration entre les anciens bus et les bus récents. En effet, les trois plus anciens bus (FBW 50U, Volvo B58 et B10M) ont un score global entre 26.5 et 35.3 alors que les bus des années 2010 (Mercedes-Benz Citaro et Hybride, MAN Hybride et Solaris) ont un score global allant de 82.4 à 91.2. Quant au score visuel, on constate une amélioration entre les deux plus anciens bus (score visuel=33.3) et tous les autres bus (score visuel ≥83.3). Ce constat est semblable pour le score biomécanique étant inférieur à 30 pour les trois plus anciens bus et au-delà de 80 pour les bus immatriculés dans les années 2010. Le score d'épaule et de cou a vu l'amélioration la plus importante, en effet le moins bon score est de 0 pour le FBW 50U (années 1960) et le meilleur score est de 100 pour le MAN Hybrid (2019). Concernant le score des membres inférieurs, les résultats sont mitigés allant de 37.5 à 83.3 sans d'amélioration entre les bus anciens et récents. En effet, le FBW 50U et le Volvo B58 ont le

même score que le Mercedes-Benz Citaro, bien qu'il y ait près d'un demi-siècle d'écart entre la construction de ces deux modèles. En regardant uniquement les scores globaux, visuel et biomécanique, on peut constater que des améliorations sont encore possibles.

Le Tableau 9 résume les résultats des régressions linéaires montrant l'évolution des scores en fonction du type de motorisation. Pour tous les scores, excepté le score des membres inférieurs, l'augmentation des scores est associée à l'année de mise en circulation du modèle, c'est-à-dire, plus le modèle est récent, plus le score est élevé (et meilleur). Le type de motorisation n'est pas associé à l'évolution des scores. Cela indique que l'évolution du confort et du design du poste de conduite s'est fait en parallèle à l'évolution des types de motorisations. Quant au score des membres inférieurs, dans le modèle univarié, l'année de mise en circulation et les types de motorisation sont associés à l'augmentation du score. Cependant, dans le modèle multivarié, aucune association n'est statistiquement significative.

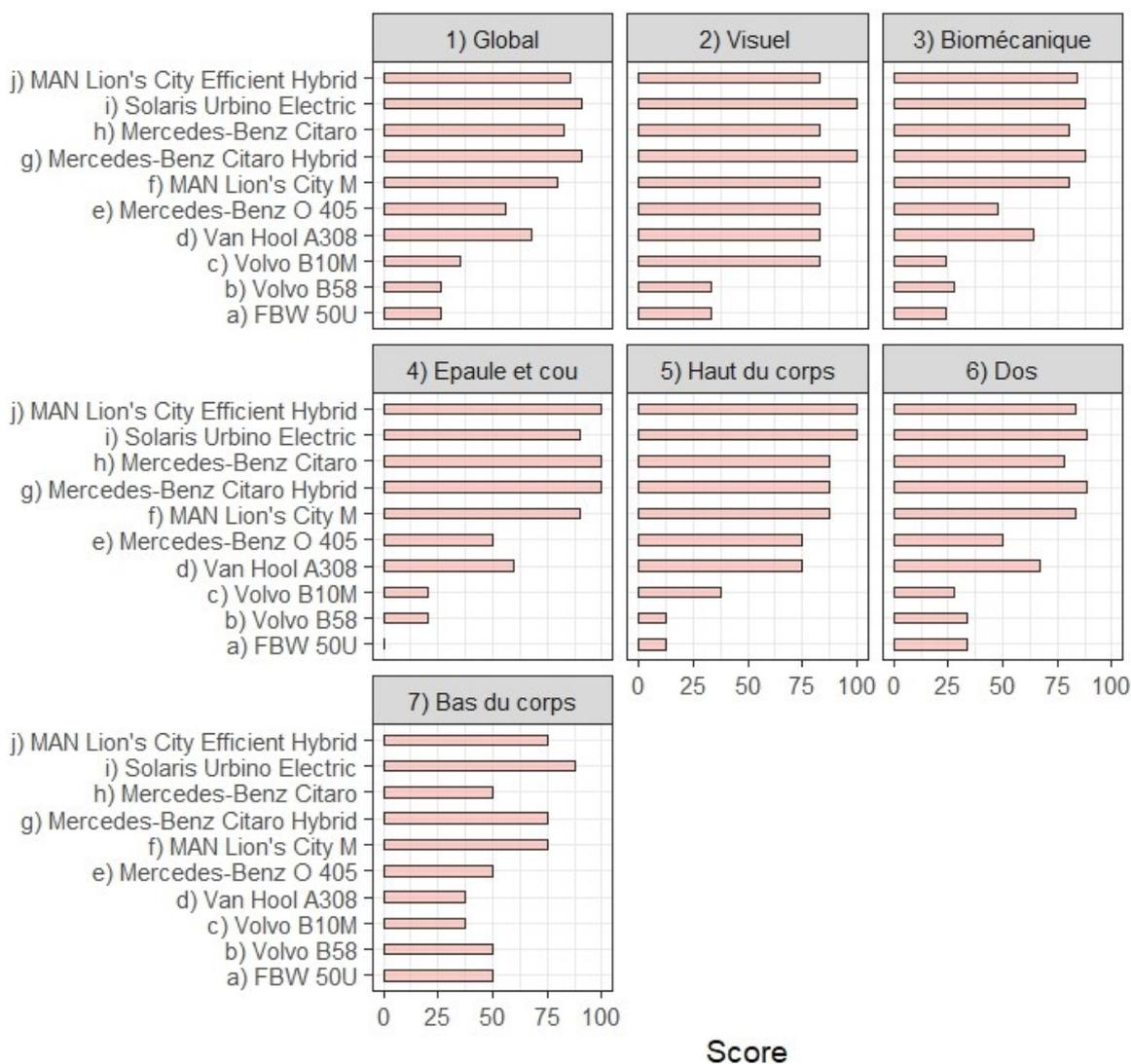


Figure 11. Scores d'ergonomie de design du poste de conduite pour tous les véhicules-types sélectionnés. Plus le score est élevé, plus les conducteur-trices ont la possibilité de régler leur poste de travail ergonomiquement. Le score minimal est de zéro et le maximum est de 100.

Tableau 9. Régressions linéaires afin de déterminer l'association entre la variation des scores de design de poste de conduite et le type de motorisation. Le modèle multivarié permet de prendre en compte l'année de mise en circulation.

	Modèle univarié			Modèle multivarié		
	β	95% I.C.	<i>p-value</i>	β	95% I.C.	<i>p-value</i>
Global						
Mise en circulation (par année)	1.35	1.18, 1.52	<0.001	1.33	1.08, 1.59	<0.001
Motorisation thermique	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Motorisation hybride	34.87	-0.36, 70.11	0.094	0.31	-10.71, 11.33	0.958
Motorisation électrique	37.82	-9.17, 84.80	0.159	2.59	-10.97, 16.14	0.721
Biomécanique						
Mise en circulation (par année)	1.4	1.13, 1.63	<0.001	1.35	0.98, 1.73	<0.001
Motorisation thermique	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Motorisation hybride	36.3	-0.54, 73.11	0.095	1.21	-15.09, 17.51	0.889
Motorisation électrique	38.3	-10.81, 87.38	0.170	2.54	-17.51, 22.59	0.812
Visuel						
Mise en circulation (par année)	1.01	0.51, 1.51	0.004	1.04	0.28, 1.80	0.036
Motorisation thermique	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Motorisation hybride	22.62	-13.56, 58.80	0.260	-4.34	-37.20, 28.52	0.804
Motorisation électrique	30.95	-17.29, 79.19	0.249	3.47	-36.95, 43.89	0.872
Épaules et cou						
Mise en circulation (par année)	1.95	1.62, 2.29	<0.001	2.04	1.56, 2.52	<0.001
Motorisation thermique	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Motorisation hybride	51.43	-3.29, 106.14	0.108	-1.50	-22.33, 19.33	0.893
Motorisation électrique	41.43	-31.52, 114.38	0.302	-12.52	-38.14, 13.10	0.375
Membres supérieurs						
Mise en circulation (par année)	1.70	1.37, 2.04	<0.001	1.82	1.33, 2.31	<0.001
Motorisation thermique	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Motorisation hybride	38.39	-10.98, 87.76	0.171	-8.78	-30.04, 12.48	0.449
Motorisation électrique	44.64	-21.18, 110.47	0.225	-3.44	-29.59, 22.71	0.805
Dos						
Mise en circulation (par année)	1.24	0.97, 1.51	<0.001	1.19	0.78, 1.60	0.001
Motorisation thermique	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Motorisation hybride	32.94	-0.43, 66.30	0.094	2.02	-15.72, 19.76	0.831
Motorisation électrique	35.71	-8.77, 80.20	0.160	4.21	-17.62, 26.02	0.719
Membres inférieurs						
Mise en circulation (par année)	0.64	0.17, 1.10	0.028	0.27	-0.26, 0.79	0.357
Motorisation thermique	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Motorisation hybride	25.00	6.81, 43.19	0.031	18.08	-4.63, 40.79	0.170
Motorisation électrique	37.50	13.25, 61.75	0.019	30.45	2.52, 58.38	0.077

95% I.C. = intervalle de confiance à 95%. Les résultats statistiquement significatifs figurent en gras

4.3.2. EXPOSITION AUX NUISANCES, RATIO DE PARTICULES ET TAUX DE RENOUVELLEMENT DE L'AIR

Le Tableau 10 résume les valeurs d'exposition aux nuisances physiques ainsi que les ratios de pollution particulaire et le taux d'échange de l'air. En raison d'un défaut des appareils de mesure, certaines mesures sont manquantes.

On peut constater que le niveau de bruit équivalent régional est en règle générale plus élevé que l'urbain. Le seul bus faisant exception est le Volvo B 10 M où le niveau de bruit équivalent régional est plus faible. Que ce soit en parcours régional ou urbain, le Mercedes-Benz Citaro (régional : 69.34 dB(A) et urbain : 64.51 dB(A)) est le plus silencieux et le plus bruyant est le Volvo B58 (régional : 88.37 dB(A) et urbain : 82.40 dB(A)). Quant au bruit de crête, il n'y a pas de tendance générale, le parcours avec le niveau de bruit de crête le plus élevé varie d'un modèle à l'autre. Le bus avec le niveau de bruit de crête le plus bas est le FBW 50U (régional : 109.65 dB(C) et urbain : 109.48 dB(C)) et celui avec le niveau le plus haut est le MAN Lion's City M (régional : 118.64 dB(C) et urbain : 117.47 dB(C)).

Le niveau de vibration est entre 0.20 m/s et 0.41 m/s. Le bus avec le niveau de vibration urbain le plus élevé est le Van Hool A308 (0.41 m/s) et pour le niveau de vibration régional, il s'agit du FBW 50U (0.38 [m/s]), tandis que le niveau de vibration le plus faible est détenu par le Solaris Électrique pour les deux types de route (urbain : 0.22 m/s, régional : 0.20 m/s). Concernant la transmissibilité effective de l'amplitude du siège, on constate que les valeurs sont pour la majorité au-dessus de 100, indiquant que le siège a tendance à amplifier les vibrations, notamment pour les vibrations d'avant en arrière (l'axe y), et de gauche à droite (l'axe x). Cependant, le siège du MAN hybride est le seul à atténuer les vibrations dans toutes les directions (valeurs inférieures à 100).

Les CE-HF ont pour la majorité des bus, un niveau plus haut en milieu urbain que régional. Le niveau le plus faible mesuré en milieu urbain et régional est celui du FBW 50U (0.06 V/m et 0.07 V/m, respectivement), alors que le niveau le plus élevé en milieu urbain et régional est celui du MAN Hybride (1.87 V/m et 1.74 V/m, respectivement). Concernant les CE-, le niveau varie entre 0.04 V/m pour le Solaris Électrique et 0.65 [V/m] pour le MAN Hybrid. Le CM-BF a un niveau entre 0.03 V/m pour le Solaris Électrique et 0.66 V/m pour le Volvo B 10 M.

Le ratio de PM₁₀ permettant de déterminer la capacité de filtration des véhicules est en général plus faible en milieu régional qu'urbain. Le ratio de PM₁₀ le plus élevé dans les deux milieux est celui du Mercedes-Benz O 405 (1.66 et 1.55, respectivement ratio urbain et régional), c'est également le seul bus avec un ratio supérieur à 1, indiquant sa tendance à concentrer les particules à l'intérieur du bus. Tous les autres ratios sont inférieurs à 1 indiquant une réduction de la concentration de PM₁₀ à l'intérieur du bus comparé à l'air extérieur. Le ratio de PM₁₀ urbain et régional les plus faibles sont ceux du Mercedes-Benz Citaro Hybride (0.33 et 0.25, respectivement). Le constat est bien différent pour le ratio des PUF. Ce dernier a tendance à être plus élevé en milieu régional qu'urbain, de plus seuls cinq des douze ratios calculés sont inférieurs à 1. Le bus avec la meilleure capacité de filtration des PUF, donc avec le ratio le plus faible, est le Mercedes-Benz Citaro Hybride (0.40 et 0.62, respectivement ratio urbain et régional). Le ratio le plus élevé en milieu urbain, qui correspond à une moins bonne capacité de filtration des nanoparticules, a été calculé pour le Mercedes-Benz O 405 (2.25), alors que le ratio régional le plus élevé a été calculé pour le FBW 50 U (4.13).

Les taux d'échange de l'air varient d'un véhicule à l'autre, étant uniquement de 0.81 changement d'air par heure pour le Solaris Électrique et allant jusqu'à 8.67 changements d'air par heure pour le MAN Hybrid. Cependant, ces valeurs sont importantes pour de longs trajets sans ouverture de porte. À chaque fois que le bus s'arrête et ouvre ses portes, un échange d'air a lieu entre l'extérieur et l'intérieur.

Le Tableau 11 permet d'examiner les associations entre le type de motorisation et les expositions aux nuisances, les ratios de particules et le taux d'échange de l'air. Pour le bruit de crête, le champ magnétique et le ratio de PM₁₀, il n'y a pas d'association entre l'exposition et le type de motorisation.

On observe une association entre le type de motorisation et le niveau de bruit. En effet, en prenant les moteurs thermiques comme référence, les bus hybrides et électriques sont plus bruyants. Cependant, en prenant les bus avec le même type de motorisation, plus ils sont récents, moins ils sont bruyants.

En considérant uniquement le modèle multivarié, il n'y a pas d'association entre les vibrations et les types de motorisations, tandis que dans le modèle univarié, qui ne prend pas en compte l'année de mise en circulation, l'association entre les moteurs électriques et les vibrations est statistiquement significative et indique une baisse du niveau de vibrations des véhicules électriques en comparaison avec les véhicules thermiques.

Le modèle multivarié des champs électriques (100 kHz – 7 GHz) montre que les bus hybrides sont associés à une augmentation du niveau de champs électriques. En revanche, les bus électriques sont associés à une diminution du niveau de champs électriques à basse fréquence, mais uniquement pour le modèle univarié.

En ce qui concerne le ratio de PUF, l'année de mise en circulation est associée à une baisse du ratio, c'est-à-dire, plus le bus est récent, plus le ratio est bas car la filtration est meilleure.

Enfin, les bus hybrides sont associés à une augmentation du nombre d'échange d'air par heure en prenant les bus thermiques comme références.

Tableau 10. Niveaux d'exposition mesurés pour les modèles types sélectionnés

		FBW 50 U	Volvo B58	Volvo B 10 M	Van Hool A308	Mercedes-Benz O 405	MAN Lion's City M	Mercedes-Benz Citaro Hybrid	Mercedes-Benz Citaro	Solaris Urbino électrique	MAN Lion's Efficient Hybrid
Bruit équivalent [dB(A)]	Urbain	75.61	82.40	75.90	71.30	68.52	71.13	72.78	64.51	73.23	70.20
	Régional	77.07	88.37	74.14	73.30	71.35	71.84	73.69	69.34	73.54	81.13
Bruit de crête [dB(C)]	Urbain	109.65	109.95	111.57	108.24	107.39	118.64	110.67	109.63	108.85	113.32
	Régional	109.48	116.47	111.86	106.39	106.88	117.47	111.95	110.32	107.67	114.06
Vibrations [m/s]	Urbain	0.34	0.28	0.29	0.41	0.28	0.27	0.28	0.22	0.22	0.26
	Régional	0.38	0.27	0.29	0.29	0.25	0.25	0.29	0.29	0.20	0.26
Transmissibilité effective de l'amplitude du siège [-]	axe x	149.00	189.00	370.00	142.00	134.00	151.00	132.00	119.00	200.00	93.00
	axe y	162.00	168.00	119.00	113.00	116.00	130.00	127.00	125.00	136.00	67.00
	axe z	154.00	106.00	93.00	102.00	107.00	109.00	111.00	100.00	93.00	65.00
Champs électriques (100 kHz-7 GHz) [V/m]	Urbain	0.06	0.34	NA	0.17	0.11	NA	0.47	0.53	0.28	1.87
	Régional	0.07	0.33	NA	0.07	0.12	NA	0.32	0.31	0.28	1.74
Champs électriques (5 Hz-100 kHz) [V/m]		0.63	NA	0.24	0.63	0.43	0.34	0.63	0.64	0.04	0.65
Champ magnétique (5 Hz-100 kHz) [μT]		0.24	NA	0.66	0.24	0.09	0.09	0.25	0.26	0.03	0.25
Ratio de PM ₁₀ [-]	Urbain	0.57	0.78	0.86	0.50	1.66	0.45	0.33	NA	0.68	NA
	Régional	0.49	0.68	0.62	0.43	1.55	0.46	0.25	NA	0.78	NA
Ratio de PUF [-]	Urbain	1.87	NA	NA	0.56	2.25	1.14	0.40	0.56	NA	NA
	Régional	4.13	NA	NA	0.67	1.88	2.12	0.62	1.29	NA	NA
Taux d'échange de l'air [1/h]		5.02	4.19	2.53	1.65	0.34	3.13	4.67	2.33	0.81	8.67

Tableau 11. Régressions linéaires afin de déterminer l'association entre les expositions aux nuisances, le ratio de particules et le taux d'échange de l'air et le type de motorisation. Le modèle multivarié prend en compte l'année de mise en circulation.

	Modèle univarié			Modèle multivarié		
	β	95% I.C.	p-value	β	95% I.C.	p-value
Bruit équivalent [dB(A)]						
Mise en circulation (année)	-0.16	-0.27, -0.06	0.007	-0.30	-0.41, -0.18	<0.001
Moteur thermique	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Moteur électrique	-0.53	-8.79, 7.73	0.902	7.27	1.21, 13.33	0.032
Moteur hybride	0.54	-5.66, 6.73	0.867	8.19	3.26, 13.11	0.005
Bruit de crête [dB(C)]						
Mise en circulation (année)	0.01	-0.08, 0.09	0.855	0.01	-0.10, 0.13	0.835
Moteur thermique	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Moteur électrique	-2.74	-7.88, 2.41	0.312	-3.06	-9.16, 3.04	0.340
Moteur hybride	1.50	-2.36, 5.36	0.455	1.18	-3.78, 6.14	0.646
Vibrations [m/s²]						
Mise en circulation (année)	0.00	0.00, 0.00	0.027	0.00	0.00, 0.00	0.141
Moteur thermique	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Moteur électrique	-0.08	-0.15, -0.02	0.026	-0.05	-0.13, 0.02	0.169
Moteur hybride	-0.02	-0.07, 0.03	0.423	0.01	-0.05, 0.07	0.812
Champs électriques (100 kHz-7 GHz) [V/m]						
Mise en circulation (année)	0.01	0.00, 0.03	0.083	0.00	-0.01, 0.02	0.680
Moteur thermique	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Moteur électrique	0.07	-0.56, 0.70	0.831	-0.02	-0.80, 0.76	0.957
Moteur hybride	0.89	0.41, 1.37	0.003	0.80	0.15, 1.45	0.032
Champs électriques (5 Hz-100 kHz) [V/m]						
Mise en circulation (année)	0.00	-0.01, 0.01	0.998	0.00	-0.01, 0.01	0.726
Moteur thermique	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Moteur électrique	-0.45	-0.78, -0.11	0.040	-0.49	-0.91, -0.07	0.073
Moteur hybride	0.15	-0.10, 0.41	0.278	0.12	-0.23, 0.46	0.541
Champ magnétique (5 Hz-100 kHz) [μT]						
Mise en circulation (année)	-0.01	-0.012, 0.002	0.192	-0.01	-0.02, 0.00	0.280
Moteur thermique	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Moteur électrique	-0.23	-0.635, 0.178	0.313	-0.09	-0.54, 0.37	0.725
Moteur hybride	-0.01	-0.318, 0.297	0.947	0.13	-0.243, 0.5	0.529
Ratio de PM₁₀ [-]						
Mise en circulation (année)	0.00	-0.02, 0.01	0.545	0.00	-0.02, 0.02	0.839
Moteur thermique	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Moteur électrique	-0.02	-0.60, 0.56	0.948	-0.07	-0.86, 0.72	0.857
Moteur hybride	-0.47	-1.05, 0.11	0.139	-0.518	-1.30, 0.26	0.217
Ratio de PUF [-]						
Mise en circulation (année)	0.00	-0.02, 0.01	0.545	0.00	-0.02, 0.02	0.839
Moteur thermique	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Moteur électrique	-0.02	-0.60, 0.56	0.948	-0.07	-0.86, 0.72	0.857
Moteur hybride	-0.47	-1.05, 0.11	0.139	-0.518	-1.30, 0.26	0.217

Mise en circulation (année)	-0.05	-0.08, -0.02	0.015	-0.04	-0.08, -0.01	0.05
Moteur thermique	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Moteur électrique	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Moteur hybride	-1.14	-2.7, 0.42	0.184	-0.32	-1.81, 1.17	0.683

Taux d'échange de l'air [1/h]

	β	95% I.C.	<i>p-value</i>	β	95% I.C.	<i>p-value</i>
Mise en circulation (année)	0.01	-0.08, 0.09	0.894	-0.05	-0.13, 0.03	0.305
Moteur thermique	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Moteur électrique	-1.93	-5.70, 1.83	0.348	-0.73	-4.98, 3.53	0.750
Moteur hybride	3.93	1.10, 6.75	0.030	5.11	1.65, 8.57	0.028

95% I.C. = intervalle de confiance à 95%

4.4. MATRICE BUS - EXPOSITIONS

L'imputation des scores de design de poste de conduite, de valeurs d'exposition, de ratio de particule et de taux d'échange d'air a nécessité la création de 66 modèles bayésiens. Après les vérifications de qualité et les tests de validation, il n'en reste plus que seize, un par score et nuisances.

Après l'étude des caractéristiques des bus de la flotte de bus suisse, on a décidé d'écarter les minibus de la BEM, car ces derniers ont une technologie et une construction différentes des autres bus. Imputer des valeurs d'exposition aux nuisances aux minibus aurait ajouté plus d'erreurs que de ne pas les utiliser lors d'analyse.

Afin de démontrer l'utilité de la BEM, elle était appliquée pour visualiser l'évolution de l'exposition aux nuisances en prenant en compte la composition de la flotte de bus suisse. Le Tableau 12 montre la composition de la flotte de bus suisse en termes de type de motorisation. La composition est basée sur des hypothèses liées aux modèles existant pendant les périodes définies, les connaissances historiques et divers rapports [54] [55]. De 1970 à 2010, seuls des trolleybus et des bus thermiques sont présents dans la flotte de bus suisse, avec une majorité de bus thermique. Les trolleybus étant plus présents dans les villes et représentent ainsi une minorité des parcours de bus en Suisse. Dès 2010, il y a l'introduction des premiers modèles hybrides et en 2015 les premiers modèles électriques. Pour la période 2030-2035, trois scénarios sont imaginés en se basant sur le rapport *du Conseil fédéral « Encourager le passage des véhicules de transport public aux énergies propres », Rapport en réponse au postulat 19.3000 CTT-CN du 15 janvier 2019* [54]. Ces scénarios imaginent une Suisse avec un nombre plus restreint de véhicules thermiques. Le scénario progressif correspond à l'intégration de véhicules hybrides et électriques en gardant les mêmes tendances qu'actuellement. Le modèle réaliste décrit un objectif atteignable avec une forte diminution des véhicules thermiques, tandis que le scénario idéal imagine une flotte de bus sans véhicule thermique, composé uniquement de bus hybrides, électrique et de trolleybus. La période 2020-2025 correspond à la distribution actuelle et prédite pour ces prochaines années.

Tableau 12. Composition de la flotte de bus suisse de 1970 à 2035. Trois scénarios sont imaginés pour la période 2030-2035, ils sont basés sur Rapport du Conseil fédéral

	Trolleybus [%]	Thermique [%]	Hybride [%]	Électrique [%]
<1970	23	77	0	0
1970-1975	23	77	0	0
1975-1980	22	78	0	0
1980-1985	20	80	0	0
1985-1990	17	83	0	0
1990-1995	15	85	0	0
1995-2000	13	87	0	0
2000-2005	13	87	0	0
2005-2010	11	89	0	0
2010-2015	11	86	3	0

2015-2020	8	78	12	2	
2020-2025	8	65	17	10	
2030-2035 (1)*	8	26	29	37	Progressif
2030-2035 (2)*	8	6	38	48	Réaliste
2030-2035 (3)*	9	0	40	51	Optimal

* Scénario sur la part de véhicules électriques, thermiques et hybrides (REF)

En premier, nous avons considéré l'évolution des scores de design du poste de conduite, résumée à la Figure 12. Pour tous les scores, on constate une augmentation du score jusqu'en 2025 puis une stagnation ou une légère baisse du score. Les scores des trois scénarios restent proches bien que la composition de la flotte de bus suisse diffère.

Ensuite, nous avons représenté l'expositions aux nuisances physiques, aux ratios de particules et au taux d'échange de l'air (Figure 14). L'exposition au bruit a diminué entre 1970 (83 dB(A)) et 2025 (72 dB(A)), cependant elle augmenterait selon les trois scénarios envisagés (entre 73 et 74 dB(A)). L'augmentation serait plus élevée pour les scénarios avec moins de véhicules thermiques. Quant au bruit de crête, son niveau a diminué entre 1970 (117 dB(C)) et 2000 (114 dB(C)), puis il a augmenté jusqu'en 2015 (117 dB(C)) pour rediminuer ensuite. Les trois scénarios montrent une légère diminution comparée aux valeurs de la période actuelle (116 dB(C) en 2025).

Le niveau de vibration a d'abord augmenté entre 1970 (0.33 m/s²) et 1975 (0.35 m/s²), puis diminué jusqu'à 0.30 m/s². Cependant, dès 2015, leur niveau a légèrement augmenté jusqu'à 31 m/s². Toutefois, selon les trois scénarios, le niveau de vibration devrait se stabiliser à 0.31 m/s² ou diminuer à 0.30 m/s². La plus grande diminution serait pour le modèle optimal sans véhicule thermique.

Le niveau de champs électriques est resté stable jusqu'en 2000 (0.12 V/m) où il a commencé à augmenter pour tripler d'ici 2025 (0.38 V/m). Cependant, les trois scénarios montrent une légère augmentation du niveau de champs électriques jusqu'à 0.40 V/m. Les champs électriques à basse fréquence ont augmenté de 1985 (0.45 V/m) jusqu'en 2020 (0.475 V/m). Ils diminuent et devraient continuer à diminuer selon les trois scénarios jusqu'à être entre 0.46 V/m et 0.47 V/m. En comparant avec le niveau de 1970 (0.35 μ T), le champ magnétique à basse fréquence a diminué jusqu'à 0.16 μ T bien qu'il y ait eu une augmentation entre 2000 (0.20 μ T) et 2015 (0.24 μ T). Toutefois, les trois scénarios prédisent une augmentation des niveaux de champ magnétique à basse fréquence, ce dernier devrait être entre 0.19 μ T et 0.20 μ T

Les ratios de PM₁₀ ont d'abord augmenté entre 1970 (0.55) et 2000 (0.85). Dès 2000, quand une majorité des bus respectait au moins une des normes EURO, le ratio a diminué pour atteindre 0.5 en 2015, ce qui indique une amélioration de la filtration et une probable diminution de la concentration de PM₁₀ dans le véhicule (non calculé ici). Cependant, dès 2020, le ratio réaugmente légèrement pour se stabiliser après 2025 selon les trois scénarios pour atteindre un ratio de PM₁₀ de 0.55. Toutefois, le ratio de PUF a diminué entre 1970 (4) et la période actuelle (1.7). Les scénarios prédisent une stabulation du ratio de PUF.

Enfin, le taux d'échange de l'air diminue entre 1970 et 2000 pour passer d'environ 3 échanges d'air par l'heure à seulement 1. Ensuite, il augmente jusqu'à la période actuelle pour atteindre 2 échanges d'air par heure. Les trois scénarios montrent une augmentation dont la plus forte est celle du scénario optimal où le taux d'échange d'air atteindrait 2 échanges d'air par heure.

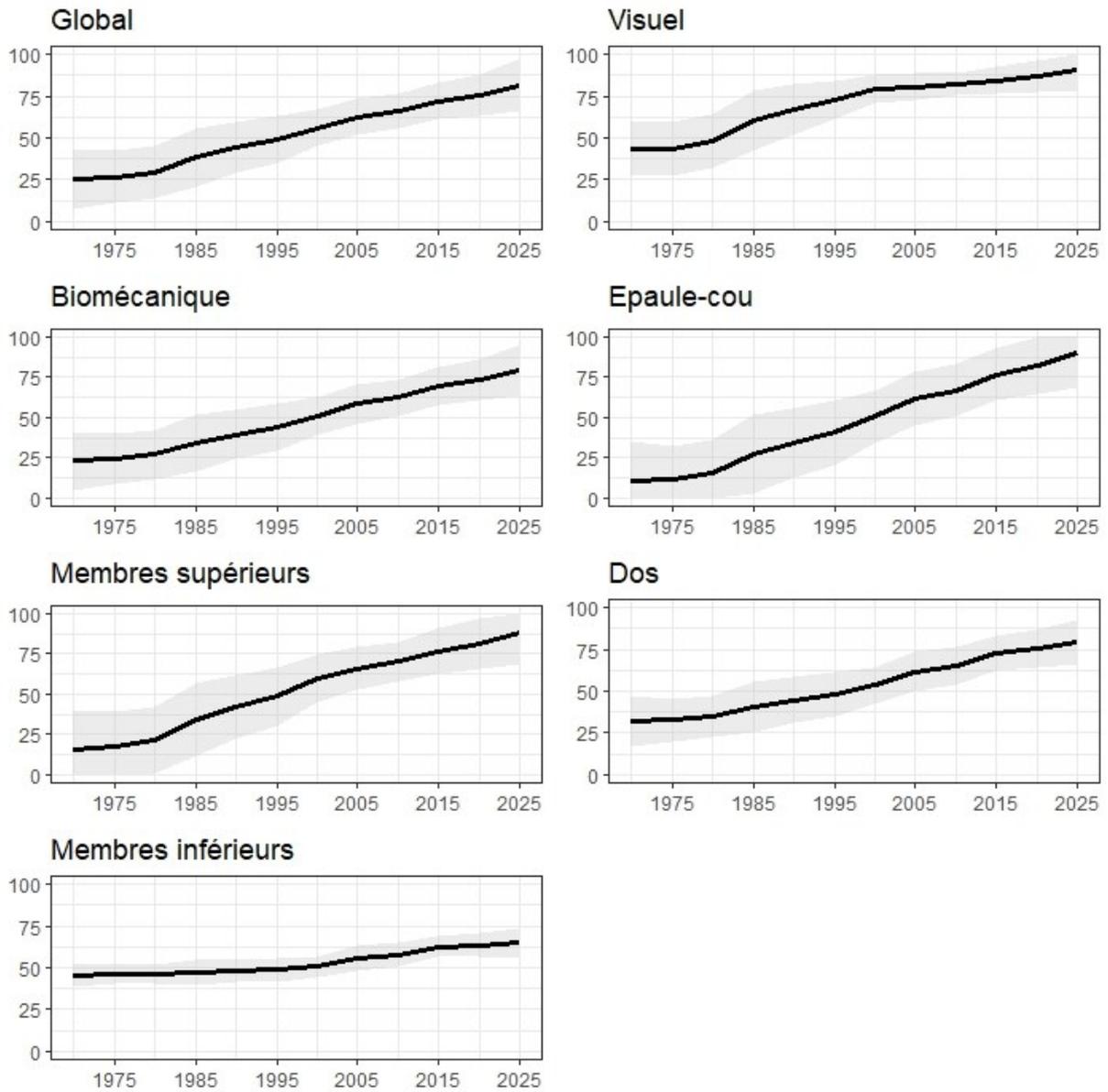


Figure 12. Évolution des scores de design de poste de conduite entre 1970 et 2035, avec trois scénarios pour le futur

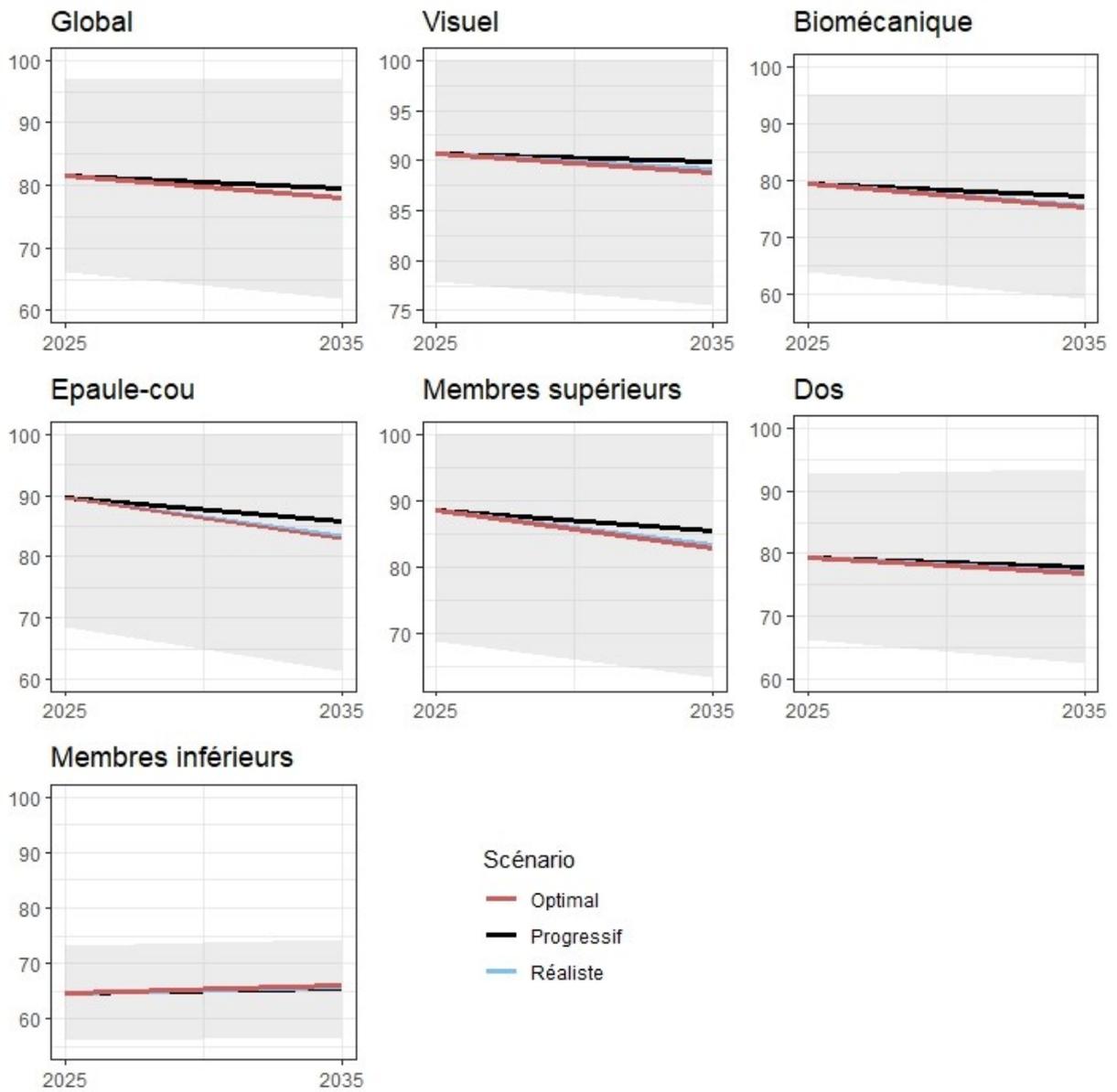


Figure 13. Evolution scores de design de poste de conduite selon trois scénarii d'évolution de la flotte entre 2025 et 2035

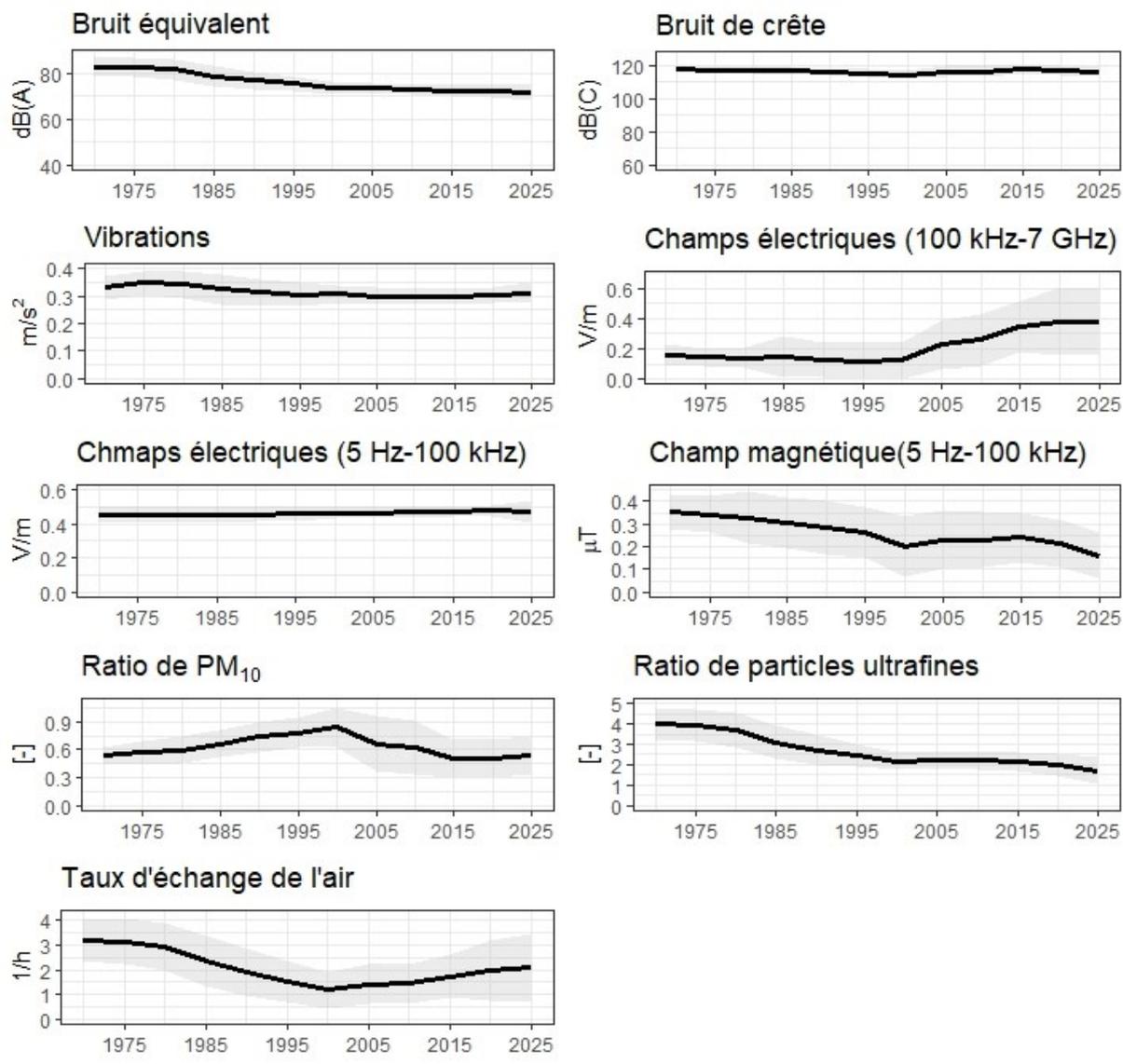


Figure 14. Évolution des valeurs d'exposition, de ratio de particules et de taux d'échange de l'air entre 1970 et 2025

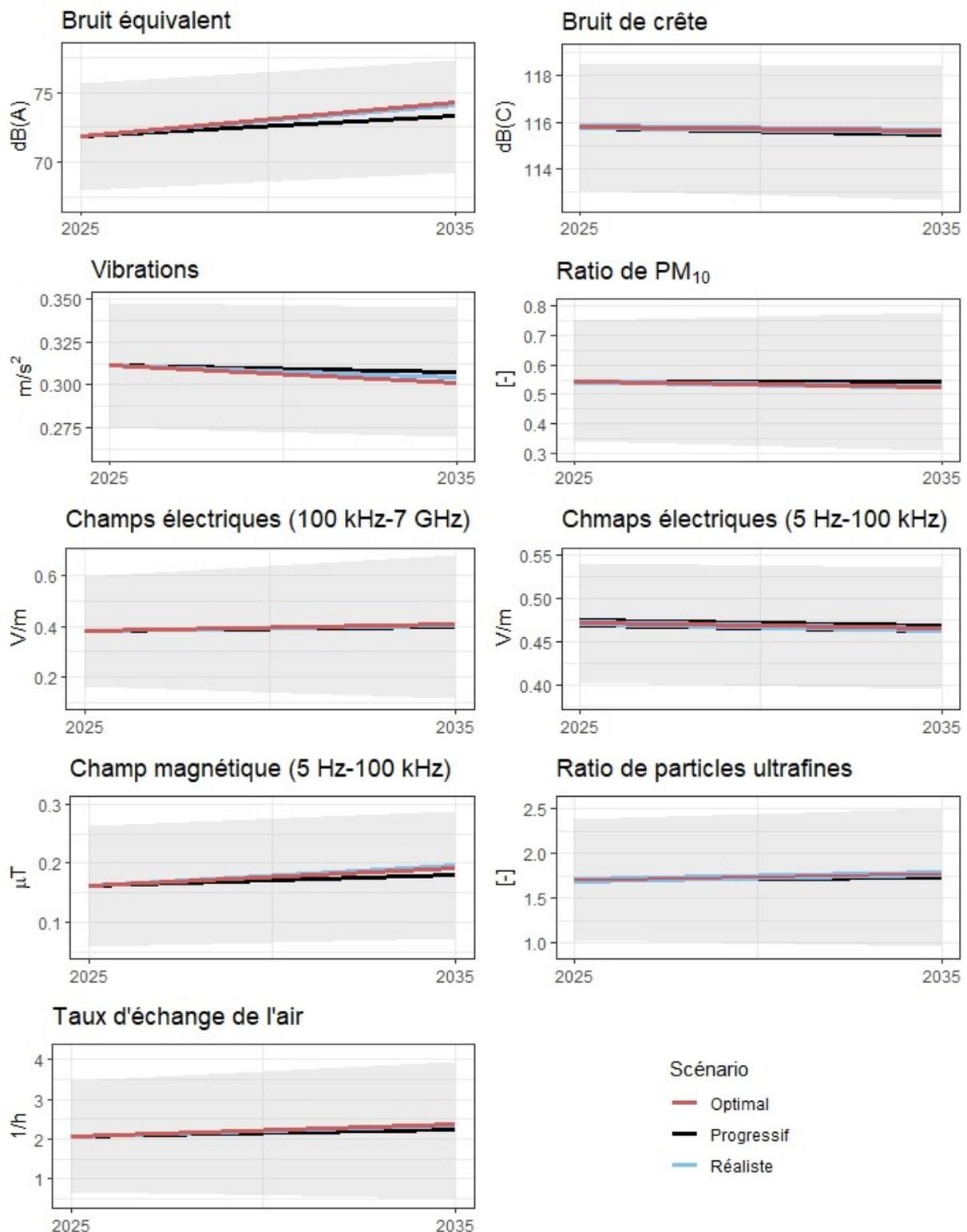


Figure 15. Evolution des expositions aux risques physiques selon trois scénarii d'évolution de la flotte entre 2025 et 2035

5. Discussion

5.1. ÉTUDE TRANSVERSALE RÉPÉTÉE

Les troubles musculosquelettiques ont été les problèmes de santé les plus reportés dans notre enquête conjointe avec les syndicats. Ces problèmes ont été signalés dans de nombreuses études menées dans de nombreux pays [3, 4, 6, 14, 20] et leurs causes sont bien connues : vibrations, positions assises

inconfortable et longue période en position assise [3, 4, 6, 14, 20] . La prévalence de neuf des seize problèmes de santé et accidents étudiés n'a pas changé au cours des trois périodes, malgré des changements importants dans les conditions de travail des conducteur·trices de bus (Tableau 5 et Figure 8). Seuls trois problèmes de santé ont vu leur prévalence diminuer. L'utilisation plus fréquente de véhicules équipés de l'air conditionné pourrait expliquer la diminution de la prévalence de l'hyperhidrose.

Les problèmes de santé et les conditions de travail étant auto-reportés par les participant·es, un risque de sur- ou sous-estimation des expositions et de la pénibilité de certaines conditions de travail et des problèmes de santé est alors possible. Cela peut engendrer un biais d'information qui est présent dans toutes les études de ce type [40]. De plus, un biais de sélection pourrait être présent car il pourrait y avoir une différence entre les conducteur·trices ayant participé à l'étude et les autres. De surcroît, seul·es les conducteur·trices de bus syndiqué·es ont été contacté·es, représentant 40.3% des conducteur·trices suisses. Il·elles ne peuvent pas représenter l'ensemble de la population des conducteur·trices de bus. Il convient de noter que le taux de syndicalisation varie de 5% à 80% et dépend de la région et de l'entreprise. De plus, bien que le questionnaire sur les conditions de travail et la santé des conducteur·trices de bus syndiqué·es ait été distribué sur l'ensemble du territoire, on constate une sur-représentation de la Suisse romande et du Tessin et donc une sous-représentation de la Suisse alémanique. Cela est un phénomène fréquemment rencontré lors d'enquête de ce style [56]. Comme la distribution de notre échantillon ne reflète pas parfaitement la population cible des conducteur·trices de bus suisses et en raison de la conception et de la disponibilité des données, les résultats de cette enquête doivent être considérés comme préliminaires et confirmés par des études méthodologiquement plus solides.

5.2. INVENTAIRE DE BUS

La taille de l'inventaire de bus suisses dépend de la définition de ce qu'est un modèle de bus. Avec une définition plus globale, le nombre de modèles serait plus faible mais la variabilité au sein du même modèle de bus serait plus grande.

Bien que tous les sites internet des entreprises de transports publics et de musée de marques de bus suisses ont été examinés, il serait imprudent d'exclure l'omission de certains modèles de bus. Pour limiter cette possibilité, nous avons confronté l'inventaire réalisé avec un registre de tous les véhicules de transport de personne homologués en Suisse [55]. Ce registre inclut également les cars de tourisme, les bus scolaires et autres véhicules de transports qui n'étant pas pris en compte dans notre étude, centrée sur le transport public. Cela n'a donc pas permis de compléter notre inventaire. De plus, les trolleybus n'ont pas besoin d'être homologués en Suisse, ils ne sont par conséquent pas présents dans ce type de registre. A notre connaissance, l'inventaire établi est actuellement le seul et premier au monde.

Une autre difficulté pour la création de l'inventaire est qu'aucune liste complète d'entreprises de transport public n'a été trouvée. Il est possible que de petites entreprises de bus n'aient pas été ajoutées aux recherches, bien que plusieurs registres d'entreprises aient été consultés.

Il est également important de noter que la frise temporelle (Figure 10) est basée uniquement sur les véhicules composant l'inventaire de bus suisses, elle correspond donc à l'évolution des véhicules en Suisse. Il se peut que certaines technologies soient apparues plus tôt dans d'autres pays.

Le choix des bus-types a également été limité par la disponibilité de ceux-ci sur les routes suisses, en particulier les anciens véhicules. Pour les véhicules plus récents, encore en circulation, nous avons collaboré avec des entreprises pour avoir accès aux véhicules pendant une journée afin d'effectuer nos mesures. Les contraintes logistiques des campagnes de mesures ont pu également influencer le choix des bus-types. Certaines entreprises de bus n'ont jamais répondu aux courriels envoyés malgré plusieurs relances. Il n'était dès lors pas possible de faire des mesures pour certains modèles de bus qui aurait pu être pertinents pour confirmer la typologie des bus établie avec des mesures supplémentaires.

5.3. CAMPAGNES DE MESURE

Il est intéressant de constater que les scores de design de poste de conduite ont évolué indépendamment des évolutions technologiques des bus. Le confort des conducteur·trices de bus fait partie des

préoccupations des concepteurs de bus mais également des entreprises de transport public. Il est également important de noter que l'évolution du confort des véhicules qui s'accompagnent souvent d'une amélioration du score de design de conception est perceptible par les conducteur-trices de bus. Cette amélioration, notamment au niveau des sièges et du tableau de bord, a été mise en avant par les conducteurs ayant participé aux campagnes de mesure.

Les valeurs d'exposition aux vibrations mesurées dans notre étude sont souvent plus basses que dans d'autres études menées par exemple en Angleterre en 2012 [9] et aux Etats-Unis d'Amérique en 2013 [57]. Cette variation montre que l'exposition aux vibrations dépendent des routes, des sièges et des véhicules. Nous avons montré que pour de nombreux véhicules le siège a tendance à augmenter les vibrations au lieu de les diminuer. Cette conclusion apparaît également dans d'autres études [8, 9].

Le niveau de bruit mesuré lors des campagnes de mesures est comparable aux niveaux trouvés dans d'autres études [58-60]. Le niveau de bruit va dépendre, entre autres, du trafic environnant. Il est possible que pendant des heures de pointe avec un trafic plus dense, le niveau de bruit soit plus élevé et qu'il soit plus faible pendant les heures creuses de la journée. Les campagnes de mesures se sont déroulées à des périodes de trafics peu dense, en dehors des heures de pointes.

Il n'est pas possible de comparer les ratios de pollution particulaire car la plupart des études [1, 2, 61-63] attribuent des valeurs d'exposition aux PM₁₀ correspondant à une période précise pour un lieu précis et ne peuvent par conséquent pas être utilisés dans un autre contexte. Le ratio de pollution va nous permettre de calculer les valeurs d'exposition aux PM₁₀ en prenant en compte la région de travail ainsi que la période de l'année.

Des mesures de champs électromagnétiques ont été faites en Suisse dans les transports publics, plus particulièrement dans des bus [64, 65]. Cependant, ces dernières ont été mesurées hors de la cabine des conducteur-trices. Ces valeurs représentent donc l'exposition des passager-ères aux champs électromagnétiques, mais sont toutefois dans la même fourchette de valeurs.

Le taux d'échange de l'air dans un véhicule est complexe à mesurer par des méthodes existantes. De plus, il n'existe pas de recommandation pour les transports publics tel que les bus. Cette mesure est importante pour les longs trajets sans ouverture de porte. Une faible valeur de taux d'échange de l'air montre une ventilation insuffisante, pouvant entraîner une augmentation du taux de CO₂ et autres bioaérosols. Une augmentation de la concentration de CO₂ au-delà de 1000 ppm peut entraîner des symptômes d'inconfort comme des maux de tête [66]. Peu d'études [66, 67] s'intéressent au taux d'échange de l'air des bus. Elles mettent cependant en avant une augmentation rapide du taux de CO₂ dans le bus. Cela est une indication d'un taux de renouvellement de l'air insuffisant. Cependant, dès que les portes s'ouvrent, le taux descend rapidement. Le taux de renouvellement de l'air est alors un facteur important pour les bus effectuant de long trajet sans ouverture de porte.

Les valeurs d'exposition sont basées sur les mesures faites lors d'une seule campagne de mesure par véhicules. Plusieurs campagnes de mesures par véhicules auraient pu permettre de calculer la moyenne de l'exposition à une nuisances et diminuer le risque d'avoir une valeur d'exposition fortement influencée par des valeurs extrêmes survenues le cas échéant lors de la campagne de mesure. De plus, certains arbitrages ont dû être faits pour estimer les valeurs d'exposition. Nous pouvons citer le choix d'exposition de 7.5 h par jour pour les vibrations (Equation 7 à 9). Il se peut qu'un-e conducteur-trice passe moins de 7 h dans un bus et dès lors, cette valeur d'exposition aux vibrations pourrait être une surestimation. Cela peut ajouter de l'incertitude dans les valeurs d'exposition.

Le passage à des bus électriques et hybrides pourrait affecter les conditions de travail des conducteur-trices de bus. En effet, les régressions linéaires faites pour déterminer s'il y a des différences d'exposition aux nuisances entre les véhicules thermiques, hybrides et électriques (Tableau 11) démontrent que le niveau de bruit est plus élevé pour les bus hybrides et électriques que pour les bus thermiques de la même période. Les bus hybrides ont souvent des moteurs moins puissants que les bus thermiques et quand il faut plus de puissance (par exemple en monter), les moteurs des véhicules hybrides sont plus bruyants. Une nuisance sonore plus élevée peut être liée à des maux de tête, de l'irritabilité et des acouphènes [58]. De plus, les niveaux de champs électriques de hautes fréquences sont plus élevés pour les bus hybrides que pour les bus électriques ou thermiques de la même période. Les conséquences pour la santé ne sont pas connues et nécessite des études plus approfondies. Pour finir, le taux d'échange de l'air est plus élevé dans les bus hybrides que dans les bus électriques ou thermiques

de la même période. Cela influencera la concentration des polluants dans le bus. En effet, un taux d'échange de l'air plus élevé permet une dilution de la pollution créée dans le bus mais il permet également d'apporter des polluants de l'extérieur si le système de filtration de l'air pour la ventilation interne n'est pas suffisant. Cependant, pour des longs trajets sans ouverture de portes régulières, un taux d'échange de l'air suffisamment élevé permet d'éviter d'avoir un taux de CO₂ élevé dans le bus ce qui peut entraîner des maux de tête et des difficultés de concentration [66].

5.4. MATRICE BUS-EXPOSITION

A notre connaissance, il s'agit de la première matrice bus-expositions dans le monde. Ce concept a été inventé par notre équipe par analogie avec des matrices postes-exposition, la cabine de bus étant le poste de travail avec des expositions variables selon la marque, le modèle et l'âge du bus.

Les modèles bayésiens sont également les premiers à modéliser les nuisances et scores de design de poste de conduite en se basant sur des caractéristiques techniques des véhicules. Les modèles bayésiens pour la modélisation des valeurs d'exposition aux nuisances et de scores de design de poste de conduite se basent sur seulement dix véhicules, ce qui correspond à seulement 1.2% des modèles de bus solo-midi ayant existé en Suisse. Afin d'avoir des modèles bayésiens plus précis, prenant en considération plus de paramètres techniques, il serait nécessaire d'avoir un échantillon de bus plus grand comprenant également des bus articulés, des minibus et des trolleybus. Une autre limitation est le faible nombre de modèles de bus électriques et hybrides présent sur les routes suisses lors du choix et de la validation des modèles types. En deux ans, plusieurs entreprises de bus ont acheté des bus électriques et hybrides. Par conséquent, les valeurs d'exposition et score de design du poste de conduite des véhicules hybrides et électriques sont basés uniquement sur trois véhicules (deux hybrides et un électrique).

Il est possible de connaître la composition de la flotte suisse en termes de type de motorisation, mais il n'est pas possible de connaître précisément la composition au modèle prêt. Il existe une base de données des véhicules homologués avec le nombre de véhicules encore en circulation, cependant, certains modèles de bus sont utilisés à la fois dans le domaine du transport public et dans le tourisme, ou encore comme véhicule de transport pour des entreprises privées. Cela ajoute de l'imprécision quant à la composition de la flotte et donc de l'évolution des expositions aux nuisances et des scores de design du poste de conduite. Cette incertitude est particulièrement présente pour les scénarii imaginés pour le futur qui sont composés d'un nombre restreint de véhicules déjà parus. Il est fort probable que de nombreuses marques sortent des véhicules hybrides et électriques ces prochaines années avec des nouvelles technologies qui pourraient totalement modifier les prédictions faites ici. Toutefois, cela permet de comprendre l'influence des évolutions technologiques sur les expositions aux nuisances des conducteur-trices de bus. En effet, il est possible de constater qu'une flotte de bus avec plus de véhicules hybrides et électriques modifient les conditions de travail des conducteur-trices de bus. Dans les scénarios de développement, l'augmentation de la proportion d'autobus hybrides et électriques se fera en parallèle, en remplacement des autobus thermiques. Cela signifie que lors du calcul des moyennes d'exposition, il n'est pas possible de séparer l'effet des véhicules hybrides et électriques. Dans la simulation des niveaux de bruit, le scénario avec la plus grande proportion de bus hybrides (40 %) a le niveau de bruit le plus élevé. En revanche, le scénario progressif avec seulement 29 % de véhicules hybrides a le niveau de bruit le plus bas. Cela pourrait indiquer l'influence des bus hybrides sur le niveau de bruit moyen de la flotte de bus simulée. Il peut être contre-intuitif de penser que le passage aux véhicules hybrides et électriques induit une augmentation des niveaux de bruit, car les bus électriques sont considérés comme moins bruyants. Cependant, cette augmentation est probablement due au fait que les bus hybrides plus bruyants remplacent des bus thermiques plus silencieux.

Concernant l'exposition aux particules, il est important de noter que seul le ratio de PM₁₀ et de PUF a été modélisé. Cela ne donne pas d'indication sur la valeur d'exposition aux PM₁₀ et au PUF. Toutefois, en sachant que les concentrations de PM₁₀ ont constamment diminué depuis les années 1980 [68] et que le ratio de PM₁₀ a également diminué depuis les années 2000, il est possible d'estimer que l'exposition aux PM₁₀ était plus élevée en 1990 que de nos jours. Il n'est cependant pas possible d'arriver à la même conclusion pour les PUF, car nous ne possédons pas de données historiques pour estimer l'évolution de l'exposition aux PUF.

5.5. SUITES DU PROJET ET PERSPECTIVES

Les données collectées lors de l'enquête sur la santé et les conditions de travail des conducteur-trices de bus ne permettaient pas de montrer le lien entre les conditions de travail et la santé. Bien que plusieurs types d'exposition ont diminué au cours des dernières années, aucune étude ne peut actuellement démontrer les bénéfices sanitaires ou salutogènes de ces tendances positives. Pour répondre à cet objectif, une étude de cohorte prospective est nécessaire. Ce nouveau projet intitulé *TRansport Personel Health Cohort Study* (TRAPHEAC) permettra un suivi prospectif des conditions de travail et des expositions dans le temps en lien avec les données sur l'état de santé des conducteur-trices de bus. Le projet SENS a servi d'un pilote pour la mise en place d'une cohorte de conducteur-trices de bus suisses. Il a démontré l'intérêt et la faisabilité du projet TRAPHEAC. Ce projet permettra à terme d'étudier les liens de cause à effet entre les conditions de travail et la santé afin de montrer les évolutions temporelles, corrigés pour l'âge et d'autres facteurs de risque. Pour se faire, les expositions aux nuisances physiques et les scores de design du poste de conduite seront calculés pour chaque participant-e en utilisant la BEM. TRAPHEAC permettra également de développer des modèles mathématiques de multi-exposition pour répondre aux hypothèses de recherche spécifiques d'actualité.

Dans le plan d'étude initial du projet SENS, il avait été prévu d'étudier les effets d'un outil d'écoconduite et de confort pour les passagers (NAVIG [69]) sur la santé des conducteur-trices. Nous avons émis l'hypothèse que cet outil d'écoconduite pourrait influencer le stress des conducteur-trices de bus. Une première idée avait été de faire un questionnaire afin de connaître le stress perçu par les conducteur-trices de bus. Cependant, ce design d'étude ne permettrait pas de démontrer l'effet de l'outil d'écoconduite sur la santé des conducteur-trices de façon suffisamment robuste. La deuxième idée était de faire un essai de contrôle randomisé. En effet, ce design d'étude est le plus adapté pour étudier les effets d'une exposition (ici l'outil d'écoconduite) et un problème de santé (ici le stress). Cependant, un tel projet nécessite des ressources non-prévues initialement dans le projet et nécessite un financement supplémentaire afin d'être mené à bien. Ayant trouvé des fonds supplémentaires, nous allons examiner des effets possibles de cet outil sur la santé et le bien-être des conducteur-trices de bus dans une des entreprises de transport en Suisse. Contrairement au projet TRAPHEAC, d'envergure nationale, mais de nature observationnelle, ce projet sera expérimental, avec un design d'étude contrôlée et pseudo-randomisée.

6. Conclusions et recommandations

Les conducteur-trices de bus suisses est une population à risque. Les problèmes de santé le plus fréquemment rapportés sont des troubles musculosquelettiques et une fatigue anormale. L'enquête sur l'état de santé des conducteur-trices de bus suisses étant descriptive par nature ne permet pas d'inférer un lien de causalité entre ses observations et les conditions de travail. Les données sur ces dernières sont quasi-absentes et ne permettent pas de prédire les expositions passées pouvant être liées avec des données de santé contemporaines. Grâce à la matrice bus-expositions développée dans ce projet, il devient possible de les modéliser. La matrice bus-expositions couplée aux données sur la composition de la flotte de bus suisses permet d'ores et déjà de visualiser l'évolution de certaines nuisances physiques et ergonomiques et de prédire des futures scénarii d'exposition. Ainsi, ce projet a montré que l'exposition à la pollution atmosphérique et au bruit a fortement diminué depuis les années 1970, alors que l'exposition aux champs électriques affiche une tendance à l'augmentation. Le design du poste de conduite a évolué favorablement, lui aussi, et sur plusieurs paramètres. Ainsi, les postes de travail semblent devenir de plus en plus ergonomiques. Les tendances d'évolution favorables démontrées dans ce projet confirment notre hypothèse initiale que l'innovation technologique dans la conception des véhicules visant un transport public plus propre pour l'environnement et plus conforme pour les passageres aurait également des bénéfices en termes de baisse d'expositions professionnelles des conducteur-trices de bus. Le projet de l'étude de cohorte TRAPHEAC devrait permettre d'aller plus loin dans l'investigation de cette hypothèse et d'examiner comment ces évolutions peuvent influencer sur l'état de santé et de bien-être dans la profession. La pandémie du SARS-CoV2 a démontré que les conducteur-trices de bus sont des professionnels essentiels, il est donc important d'étudier cette profession et les conditions permettant de la garder en bonne santé.

Liste des symboles et abréviations

BEM	Matrice Bus-Exposition
CE-BF	Champs électriques à basse fréquence (5Hz – 100 kHz)
CM-BF	Champ magnétique à basse fréquence (5Hz – 100 kHz)
CE-HF	Champs électrique à haute fréquence (100 kHz – 7 GHz)
PUF	Particules ultra fines
OR	Ratio de cotes (en anglais : <i>odd ratio</i>)
95% IC	Intervalle de confiance à 95%

Références

1. Merlo, D.F., et al., *A historical mortality study among bus drivers and bus maintenance workers exposed to urban air pollutants in the city of Genoa, Italy*. *Occup Environ Med*, 2010. **67**(9): p. 611-9.
2. Petersen, A., et al., *Cancer morbidity among Danish male urban bus drivers: A historical cohort study*. *Am J Ind Med*, 2010. **53**(7): p. 757-61.
3. Schneider, E., *OSH in figures: Occupational safety and health in the transport sector — an overview*. 2011.
4. Tse, J., R. Flin, and K. Mearns, *Bus Driver Well-Being Review: 50 Years of Research*. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2006. **9**: p. 89-114.
5. Alizadeh, A., et al., *Noise-induced hearing loss in bus and truck drivers in Mazandaran province, 2011*. *Int J Occup Saf Ergon*, 2016. **22**(2): p. 193-8.
6. Golinko, V., et al., *Assessment of the Risks of Occupational Diseases of the Passenger Bus Drivers*. *Safety and Health at Work*, 2020. **11**(4): p. 543-549.
7. Deza-Becerra, F., et al., *Sleep habits, fatigue, and sleepiness in Chiclayo-Peru's bus drivers*. *Sleep Breath*, 2017. **21**(3): p. 745-749.
8. Adam, S.A. and N.A.A. Jalil, *Vertical Suspension Seat Transmissibility and SEAT Values for Seated Person Exposed to Whole-body Vibration in Agricultural Tractor Preliminary Study*. *Procedia Engineering*, 2017. **170**: p. 435-442.
9. Lewis, C.A. and P.W. Johnson, *Whole-body vibration exposure in metropolitan bus drivers*. *Occup Med (Lond)*, 2012. **62**(7): p. 519-24.
10. Nowakowicz-Dębek, B., et al., *Evaluating bioaerosol exposure among bus drivers in the public transport sector*. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2017. **14**(11): p. D169-D172.
11. De Matteis, S., et al., *COVID-19 incidence in a cohort of public transport workers*. *Medicina Del Lavoro*, 2022. **113**(4): p. 7.
12. Gartland, N., et al., *Experiences, Perceptions of Risk, and Lasting Impacts of COVID-19 for Employees in the Public Transport Sector*. *Annals of Work Exposures and Health*, 2022: p. 11.
13. Magnusson, K., et al., *Occupational risk of COVID-19 in the first versus second epidemic wave in Norway, 2020*. *Eurosurveillance*, 2021. **26**(40): p. 8.
14. Kompier, M.A.J.D.M., Vittorio, *Review of bus drivers'occupational stress and stress prevention*. *Stress Medicine*, 1995. **11**: p. 253-262.
15. Araujo, A.V., et al., *Ergonomic work analysis: A case study of bus drivers in the private collective transportation sector*. *Work*, 2018. **60**(1): p. 41-47.
16. Bovio, N., D.B. Richardson, and I. Guseva Canu, *Sex-specific risks and trends in lung cancer mortality across occupations and economic activities in Switzerland (1990-2014)*. *Occup Environ Med*, 2020.
17. Guberan, E., et al., *INCREASED RISK FOR LUNG-CANCER AND FOR CANCER OF THE GASTROINTESTINAL-TRACT AMONG GENEVA PROFESSIONAL DRIVERS*. *British Journal of Industrial Medicine*, 1992. **49**(5): p. 337-344.
18. Tse, J.L.M., R. Flin, and K. Mearns, *Bus driver well-being review: 50 years of research*. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2006. **9**(2): p. 89-114.
19. Yasobant, S., M. Chandran, and E. Reddy, *Are Bus Drivers at an Increased Risk for Developing Musculoskeletal Disorders? An Ergonomic Risk Assessment Study*. *Journal of Ergonomics*, 2015. **S3**: p. 1-5.
20. Bhatt, B. and M.S. Seema, *Occupational Health Hazards: A Study of Bus Drivers*. *Journal of Health Management*, 2012. **14**(2): p. 201-206.

21. Chen, W.L., et al., *The impact of occupational psychological hazards and metabolic syndrome on the 8-year risk of cardiovascular diseases-A longitudinal study*. PLoS One, 2018. **13**(8): p. e0202977.
22. Wu, W.T., et al., *Professional Driver's Job Stress and 8-year Risk of Cardiovascular Disease: The Taiwan Bus Driver Cohort Study*. Epidemiology, 2019. **30** Suppl 1: p. S39-s47.
23. Anund, A., et al., *An on-road study of sleepiness in split shifts among city bus drivers*. Accid Anal Prev, 2018. **114**: p. 71-76.
24. Anund, A., et al., *Factors associated with self-reported driver sleepiness and incidents in city bus drivers*. Ind Health, 2016. **54**(4): p. 337-46.
25. Risco, J., et al., *Excessive sleepiness prevalence in public transportation drivers of a developing country*. Traffic Inj Prev, 2013. **14**(2): p. 145-9.
26. Makowiec-Dabrowska, T., et al., *Climate conditions and work-related fatigue among professional drivers*. Int J Biometeorol, 2019. **63**(2): p. 121-128.
27. Guseva Canu, I., et al., *Suicide mortality follow-up of the Swiss National Cohort (1990-2014): sex-specific risk estimates by occupational socio-economic group in working-age population*. Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol, 2019. **54**(12): p. 1483-1495.
28. Remy, V.F.M. and I. Guseva Canu, *The impact of the SARS-CoV-2 pandemic on health and working conditions of Swiss bus drivers*. Journal of Transport & Health, 2023. **32**: p. 101683.
29. Remy, V.F.M. and I. Guseva Canu, *Healthy Bus Drivers, Sustainable Public Transport: A Three-Time Repeated Cross-Sectional Study in Switzerland*. International Journal of Public Health, 2023. **68**.
30. Brodie, A., et al., *Australian bus drivers' modifiable and contextual risk factors for chronic disease: A workplace study*. PLOS ONE, 2021. **16**(7): p. e0255225.
31. Winkleby, M.A., et al., *Excess risk of sickness and disease in bus drivers: a review and synthesis of epidemiological studies*. Int J Epidemiol, 1988. **17**(2): p. 255-62.
32. Pimenta, A.M. and A.A. Assuncao, *Thermal discomfort and hypertension in bus drivers and chargers in the metropolitan region of Belo Horizonte, Brazil*. Appl Ergon, 2015. **47**: p. 236-41.
33. Querido, A., et al., *Ergonomic work analysis of urban bus drivers in Rio de Janeiro city*. Work, 2012. **41** Suppl 1: p. 5956-8.
34. Guseva Canu, I., et al., *Identification of socio-demographic, occupational, and societal factors for guiding suicide prevention: A cohort study of Swiss male workers (2000-2014)*. Suicide Life Threat Behav, 2021. **51**(3): p. 540-553.
35. Wild, P., N. Bovio, and I. Guseva Canu, *Part-time work and other occupational risk factors for suicide among working women in the Swiss National Cohort*. Int Arch Occup Environ Health, 2021. **94**(5): p. 981-990.
36. Schmid, M., et al., *Prevalence of somatic and psychiatric morbidity across occupations in Switzerland and its correlation with suicide mortality: results from the Swiss National Cohort (1990-2014)*. BMC Psychiatry, 2020. **20**(1): p. 324.
37. Fankhauser, C. and Sev, *La santé au travail des conducteurs de bus, Une enquête de la branche VPT bus-GATU du Syndicat du personnel des transports (SEV)*, in sev-online. 2011, SEV Syndicat du personnel des transports.
38. SEV., *[Health at work. SEV bus branch investigation report] French 2019*, Swiss transport personnel trade union (SEV): Bern, Switzerland. p. 1-20.
39. Guseva Canu, I., et al., *Development of a job exposure matrix for the epidemiological follow-up of workers in the French nuclear industry*. Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique, 2008. **1**(56): p. 21-29.
40. Schubauer-Berigan, M.K., et al., *IARC-NCI workshop on an epidemiological toolkit to assess biases in human cancer studies for hazard identification: beyond the algorithm*. Occup Environ Med, 2023. **80**(3): p. 119-120.
41. Harris, P.A., et al., *The REDCap consortium: Building an international community of software platform partners*. J Biomed Inform, 2019. **95**: p. 103208.
42. Harris, P.A., et al., *Research electronic data capture (REDCap)--a metadata-driven methodology and workflow process for providing translational research informatics support*. J Biomed Inform, 2009. **42**(2): p. 377-81.
43. Team, R.C., *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. 2020, R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria.
44. Linzer, D.A. and J.B. Lewis, *poLCA: An R Package for Polytomous Variable Latent Class Analysis*. Journal of Statistical Software, 2011. **42**(10): p. 1 - 29.

45. Tennant, P.W.G., et al., *Use of directed acyclic graphs (DAGs) to identify confounders in applied health research: review and recommendations*. *Int J Epidemiol*, 2021. **50**(2): p. 620-632.
46. Guerry, E., et al., *Luminance Contrast Assessment for Elderly Visual Comfort Using Imaging Measurements*. *Procedia Manufacturing*, 2019. **32**: p. 474-479.
47. Suk, J.Y., *Luminance and vertical eye illuminance thresholds for occupants' visual comfort in daylight office environments*. *Building and Environment*, 2019. **148**: p. 107-115.
48. Cui, S., et al., *CO2 tracer gas concentration decay method for measuring air change rate*. *Building and Environment*, 2015. **84**: p. 162-169.
49. Rööslü, M., et al., *Statistical analysis of personal radiofrequency electromagnetic field measurements with nondetects*. *Bioelectromagnetics*, 2008. **29**(6): p. 471-8.
50. Griffin, M.J., Howarth, H. V. C., Pitts, P. M., Fischer, S., Kaulbars, U., Donati, P.M. and Brereton, P.F., *Guide to good practice on whole-body vibration: non-binding guide to good practice for implementing Directive 2002/44/EC on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibrations)*. 2006: European Commission.
51. GART, U., *Confort des Postes de Conduite des Tramways*. 2015: Paris.
52. Bürkner, P.-C., *brms: An R Package for Bayesian Multilevel Models Using Stan*. *Journal of Statistical Software*, 2017. **80**(1): p. 1 - 28.
53. Bürkner, P.-C., *Bayesian Item Response Modeling in R with brms and Stan*. *Journal of Statistical Software*, 2021. **100**(5): p. 1 - 54.
54. fédéral, C., *Encourager le passage des véhicules de transport public aux énergies propres*. 2020, Confédération suisse: Bern.
55. ASTRA, B.f.S., *Fahrzeugbestände nach Typ Busse und Gesellschaftswagen*. 2021, Confédération suisse.
56. Plys, E., et al., *Unisanté -Centre universitaire de médecine générale et santé publique Département Santé au travail et environnement (DSTE)*. *Raison santé* 337, 2022.
57. Thamsuwan, O., et al., *Whole body vibration exposures in bus drivers: A comparison between a high-floor coach and a low-floor city bus*. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2013. **43**(1): p. 9-17.
58. Bruno PS, M.Q., Amanda C, Paulo ZH, *Annoyance evaluation and the effect of noise on the health of bus drivers*. **Noise Health**, 2013.
59. Zannin, P.H.T., *Occupational noise in urban buses*. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2008. **38**(2): p. 232-237.
60. NADRI F, M.M., KHANJANI N, GHOTBI M, RAJABIZADE A, NADRI H., *An Investigation on Occupational Noise Exposure in Kerman Metropolitan Bus Drivers*. **Int J Occup Hyg.**, 2015. **4**(1):1-5.
61. Mohammadyan, M., A. Alizadeh, and R.A. Mohammadpour, *Assessment of Bus Drivers' Exposure to Respirable Particles (PM10) in Sari*. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 2007. **17**(60): p. 39-47.
62. Mohd Firdaus O., J.J., *Exposure to Indoor Air Pollutants (PM10, CO2 And CO) and Respiratory Health Effects among Long Distance Express Bus Drivers*. **Health and the Environment Journal**, 2014. **Vol 5 No 3**.
63. Jinsart, W., et al., *Driver exposure to particulate matter in Bangkok*. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2012. **62**(1): p. 64-71.
64. Jalilian, H., et al., *Public exposure to radiofrequency electromagnetic fields in everyday microenvironments: An updated systematic review for Europe*. *Environ Res*, 2019. **176**: p. 108517.
65. Sagar, S., et al., *Comparison of radiofrequency electromagnetic field exposure levels in different everyday microenvironments in an international context*. *Environ Int*, 2018. **114**: p. 297-306.
66. Chiu, C.F., M.H. Chen, and F.H. Chang, *Carbon Dioxide Concentrations and Temperatures within Tour Buses under Real-Time Traffic Conditions*. *PLoS One*, 2015. **10**(4): p. e0125117.
67. Shinohara, N., et al., *Survey of air exchange rates and evaluation of airborne infection risk of COVID-19 on commuter trains*. *Environment International*, 2021. **157**: p. 106774.
68. OFEV, O.f.d.l.e., *PM10 et PM2.5 concentrations ambiantes en Suisse*. 2013, Office fédéral de l'environnement OFEV: Berne.
69. Robotel, V. *P-084 Développement d'un système embarqué dans les bus pour favoriser une conduite écologique auprès des chauffeurs*. 2018; Available from: www.bav.admin.ch.

Annexes

A.1. QUESTIONNAIRE FAIT CONJOINTEMENT AVEC LES SYNDICATS SUR LA SANTÉ ET LES CONDITIONS DE TRAVAIL DES CONDUCTEUR·TRICES DE BUS

Langue/ Sprache/ Lingua : Français Deutsch Italiano

SANTÉ ET TRAVAIL

Les syndicats SEV, syndicom et SSP, en partenariat avec des chercheuses et chercheurs d'Unisanté, lancent une enquête auprès des conductrices et conducteurs des transports publics sur le thème de la sécurité au travail et de la protection de la santé.

Cette enquête reprend les questions des enquêtes précédentes du SEV de 2010 et 2018 pour faire une analyse globale de l'évolution des conditions de travail et de votre état de santé. De ce fait, elle comporte une question sur votre carrière de conductrice / conducteur et trois questions pour avoir votre avis concernant un projet d'étude plus approfondie, en partenariat avec les chercheurs d'Unisanté.

Les résultats serviront à renforcer notre action syndicale dans le domaine de la prévention de la santé et à mettre en avant nos revendications lors de futures négociations conventionnelles.

Cette enquête est **complètement anonyme**. Quelles que soient vos réponses, aucun/e répondant/e ne pourra être identifié/e, même en croisant plusieurs questions. Les résultats vous seront présentés et discutés lors d'assemblées syndicales.

Santé

Ressentez-vous des problèmes de suivants au moins une fois par mois ?

Veillez cocher le ou les problèmes ressentis

- Fatigue anormale
- Douleurs musculaires des épaules ou du cou
- Douleurs musculaires des membres supérieurs
- Douleurs musculaires des membres inférieurs
- Maux de dos
- Maux de tête
- Maux d'estomac
- Stress
- Anxiété
- Irritabilité
- Troubles du sommeil
- Troubles de l'appétit ou de la digestion
- Hypersudation (forte transpiration)

Pénibilité du travail

Veuillez cocher le ou les problèmes ressentis

Très pénible	Pénible	Pas très pénible	Pas pénible	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Travail de nuit (dès 22h)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Travail du soir (dès 18h)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Travail du dimanche
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Condition de circulation
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Temps au volant de plus de quatre heures
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Amplitude de journées de plus de 10 heures
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Retard sur l'horaire
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Agressivité des usagers (clients)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Agressivité des autres usagers de la route
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Perturbation de trafic (accident/ stationnement livreurs)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Comportement des cyclistes
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Longues périodes sans accès aux toilettes

Ergonomie

Quelle importance attachez-vous à :

	1-Pas important	2	3	4	5- Très important
Qualité du siège	<input type="checkbox"/>				
Réglage et disposition des instruments de conduite (volant, etc.)	<input type="checkbox"/>				
Fermeture de la cabine	<input type="checkbox"/>				
Ventilation- climatisation	<input type="checkbox"/>				
Fermeture de la porte avant	<input type="checkbox"/>				
Courant d'air	<input type="checkbox"/>				
Bruit	<input type="checkbox"/>				

Ambiance de travail

Pouvez-vous dire ce qui va bien au travail ? (Trois critères maximum)

- Solidarité entre les travailleurs
- Supérieurs corrects
- Qualité du travail
- Satisfaction dans le travail
- Liberté, indépendance
- Emploi assuré
- Salaire
- Horaires
- Autre :

Veillez

préciser :

Accidents et maladies

Avez-vous dû manquer le travail pour des raisons de santé durant l'années passées ?

- Oui
- Non

Avez-vous été victime d'un accident professionnel avec arrêt de travail en 2021 ?

- Oui
- Non

Avez-vous été atteint d'une maladie que vous estimez liée avec votre travail en 2021 ?

- Oui
- Non

Prenez-vous le volant en étant toujours en pleine possession de vos moyens ?

- Oui
- Non

Si

non,

pourquoi :

Vous personnellement

Ces informations sont indispensables pour comprendre les résultats de l'enquête. Elles **ne seront pas traitées individuellement**, mais de manière groupée avec l'ensemble des réponses obtenues, **pour faire des analyses par sous-groupes** selon les critères listés ci-dessous.

Quel est votre sexe ? Homme Femme

Quel est votre âge ? _____

Quel est votre niveau de scolarité ? Ecole obligatoire Ecole secondaire Supérieur

Avez-vous fait un apprentissage ? Oui Non

Dans quel canton résidez-vous :

- | | | | |
|---|---|-----------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Appenzell Rh.-Ext. | <input type="checkbox"/> Appenzell Rh.-Int. | <input type="checkbox"/> Argovie | <input type="checkbox"/> Bâle-Campagne |
| <input type="checkbox"/> Bâle-Ville | <input type="checkbox"/> Berne | <input type="checkbox"/> Fribourg | <input type="checkbox"/> Genève |
| <input type="checkbox"/> Glaris | <input type="checkbox"/> Grison | <input type="checkbox"/> Jura | <input type="checkbox"/> Lucerne |
| <input type="checkbox"/> Neuchâtel | <input type="checkbox"/> Nidwald | <input type="checkbox"/> Obwald | <input type="checkbox"/> Saint-Gall |
| <input type="checkbox"/> Schaffhouse | <input type="checkbox"/> Schwyz | <input type="checkbox"/> Soleure | <input type="checkbox"/> Tessin |
| <input type="checkbox"/> Thurgovie | <input type="checkbox"/> Uri | <input type="checkbox"/> Valais | <input type="checkbox"/> Vaud |
| <input type="checkbox"/> Zoug | <input type="checkbox"/> Zurich | | |

Votre carrière professionnelle

Cette question vise à **retracer votre parcours de conducteur/conductrice** plus en détail et **répertorier les types de bus et trolleybus (marque et modèle)** que vous avez pu conduire.

Essayez de vous les rappeler le plus précisément possible de ces véhicules, et indiquez la période de leur conduite, **en commençant par la période la plus récente**.

Dans quelle entreprise travaillez-vous actuellement ? _____ (liste déroulante de choix)

Depuis quand y travaillez-vous ? *Date approximative (JJ-MM-AAAA)*

Travaillez-vous à temps plein (100% de taux d'occupation) ? Oui Non

Si non, à quel taux travaillez-vous ? (*Indiquez le taux en pourcentage. Exemple 40%*)

Quel est la marque du bus que vous conduisez actuellement le plus souvent ? _____ (liste déroulante de choix)

Quel est le modèle de ce bus ? _____ (liste déroulante de choix dépendant de la marque)

Depuis quand conduisez-vous ce bus ? *Date approximative (JJ-MM-AAAA)* _____

Quel type de service vous effectuez avec ce bus ? Urbain Régional Mixte

Est-ce que vous conduisez un autre bus ou trolleybus en parallèle) ? Oui Non

Si oui : même série de question pour le modèle suivant

Si non : Avez-vous travaillé dans une autre entreprise de transport publique ? Oui Non

Si oui : même série de question

Si non : rien ne s'affiche, section terminée

Votre avis sur la situation Covid

De votre point de vue, votre employeur a-t-il réagi suffisamment vite au début de la pandémie (soit au début 2020) afin de vous protéger contre le coronavirus sur votre place de travail?

Oui Non

Est-ce que, de votre point de vue, vous êtes aujourd'hui suffisamment protégé/e contre le coronavirus à votre place de travail?

Oui Non

Est-ce que, de votre point de vue, les concepts de protection contre le coronavirus sont bien appliqués à votre place de travail?

Oui Non

Avez-vous dû faire beaucoup d'heures supplémentaires à cause du coronavirus (par exemple pour remplacer des collègues)?

Oui Non

Est-il arrivé que vous ayez dû reprendre à court terme des tours de service de vos collègues à cause du coronavirus?

Oui Non

Votre charge de travail a-t-elle augmenté de manière générale à cause du coronavirus?

Oui Non

Est-ce que le travail supplémentaire découlant de la pandémie a amené un rétrécissement de vos phases de repos?

Oui Non

Est-ce que la charge de travail plus grande a eu des répercussions sur votre état psychique ou physique?

Oui Non

Quelle note aimeriez-vous décerner à votre employeur dans sa manière d'appréhender le coronavirus après deux années de pandémie?

1 2 3 4 5 6

Votre avis quant à une future étude scientifique

Si une future étude universitaire indépendante **sur les conditions de travail et la santé du personnel de transport public se mettait en place** pour collecter plus de données d'expositions professionnelles et de santé, mais toujours pour une analyse groupée et anonymisée de ces données.

Seriez-vous d'accord d'y participer ?

Oui, bien sûr

Plutôt oui

Plutôt non

Non

Accepteriez-vous d'autoriser l'équipe de recherche universitaire à utiliser les données de vos examens médicaux professionnels pour étudier le lien entre votre travail et votre santé ?

Oui, bien sûr

Plutôt oui

Plutôt non

Non

Accepteriez-vous de communiquer à l'équipe de recherche universitaire votre numéro AVS pour étudier le lien entre votre travail et votre santé à partir des données des registres de santé ?

Oui, bien sûr

Plutôt oui

Plutôt non

Non

Voilà, vous êtes arrivé/e à la fin de cette enquête, les syndicats SEV, syndicom et SSP et l'équipe d'Unisanté vous remercient de votre engagement et de votre collaboration !

A.2. GAD DES CARACTÉRISTIQUES TECHNOLOGIQUES DES VÉHICULES, DES EXPOSITIONS AUX NUISANCES ET DES SCORES DE DESIGN DE POSTE DE CONDUITE

A.2.1. VIBRATIONS

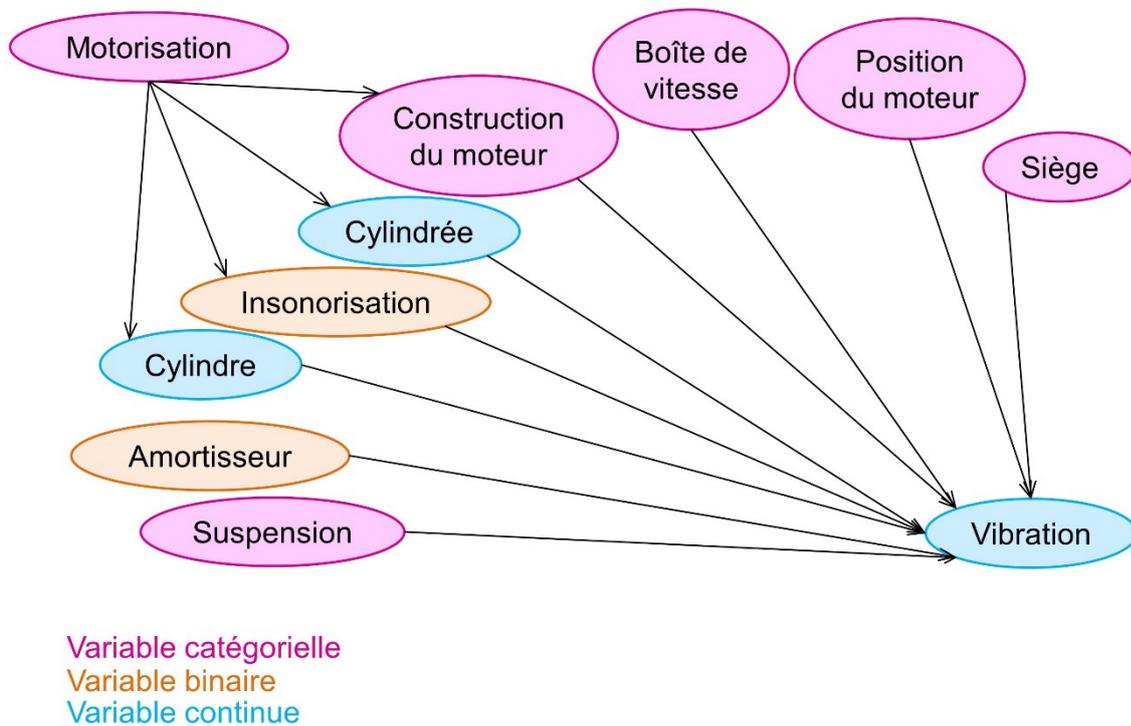


Figure A. 1- GAD montrant les caractéristiques techniques des véhicules pouvant influencer les vibrations

A.2.2. BRUIT

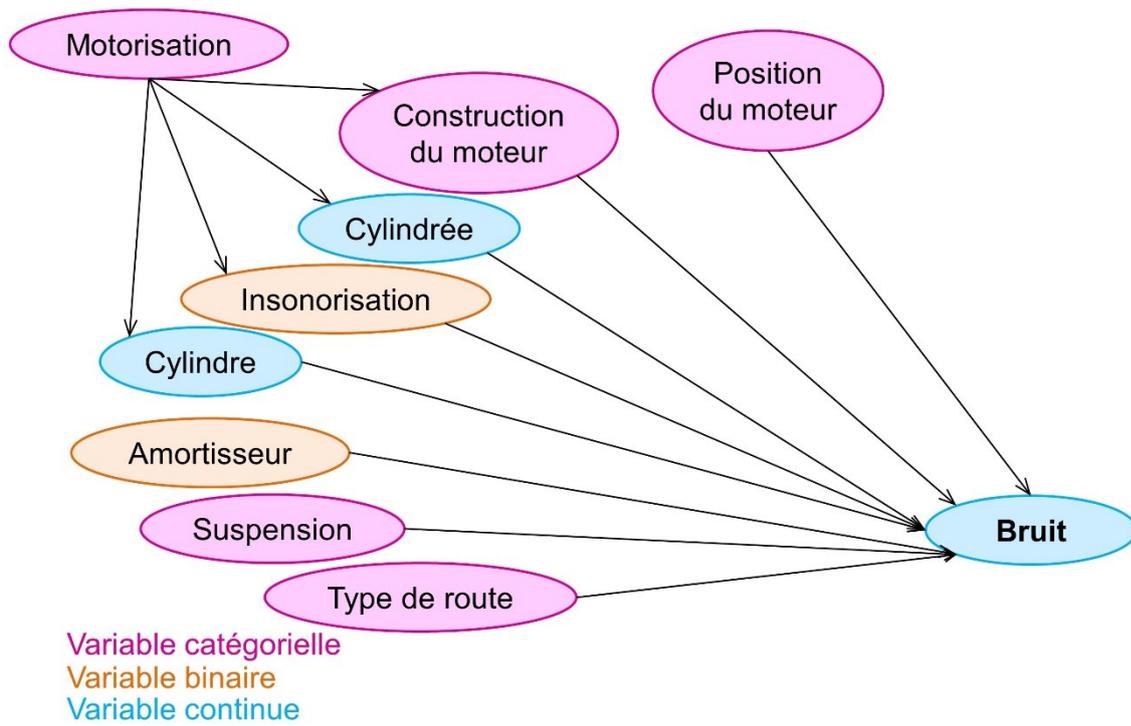


Figure A. 2. GAD montrant les caractéristiques techniques des véhicules pouvant influencer le bruit

A.2.3. CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

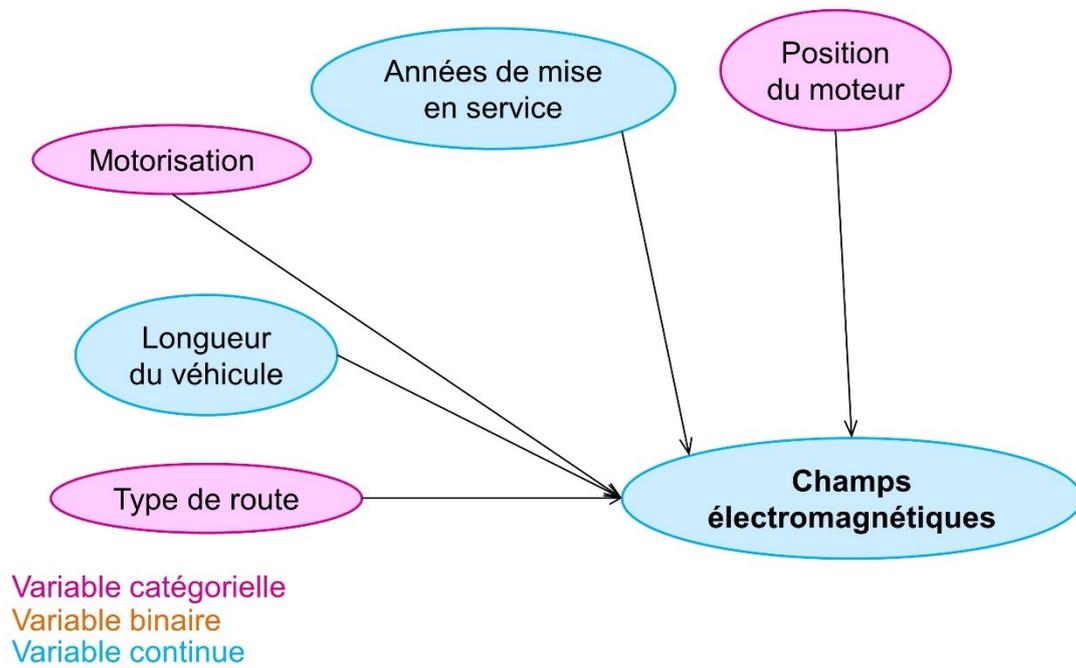


Figure A. 3. GAD montrant les caractéristiques techniques des véhicules pouvant influencer les champs électromagnétiques

A.2.4. TAUX DE RENOUELEMENT DE L'AIR

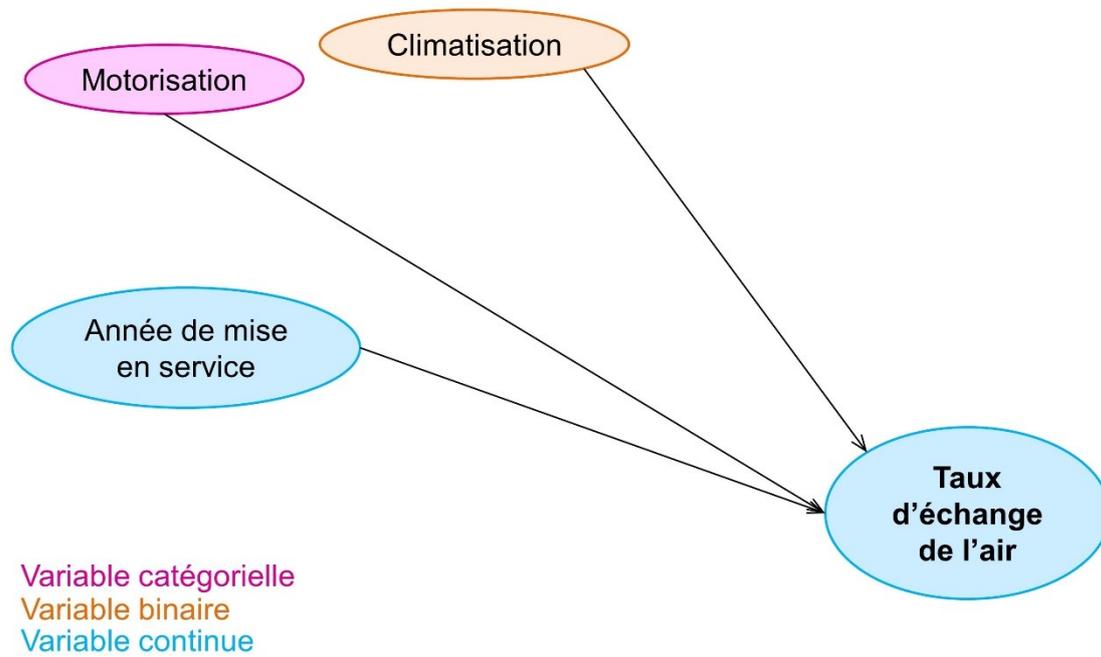


Figure A. 4. GAD montrant les caractéristiques techniques des véhicules pouvant influencer le taux d'échange de l'air

A.2.5. POLLUTION PARTICULAIRE (PM₁₀ ET PUF)

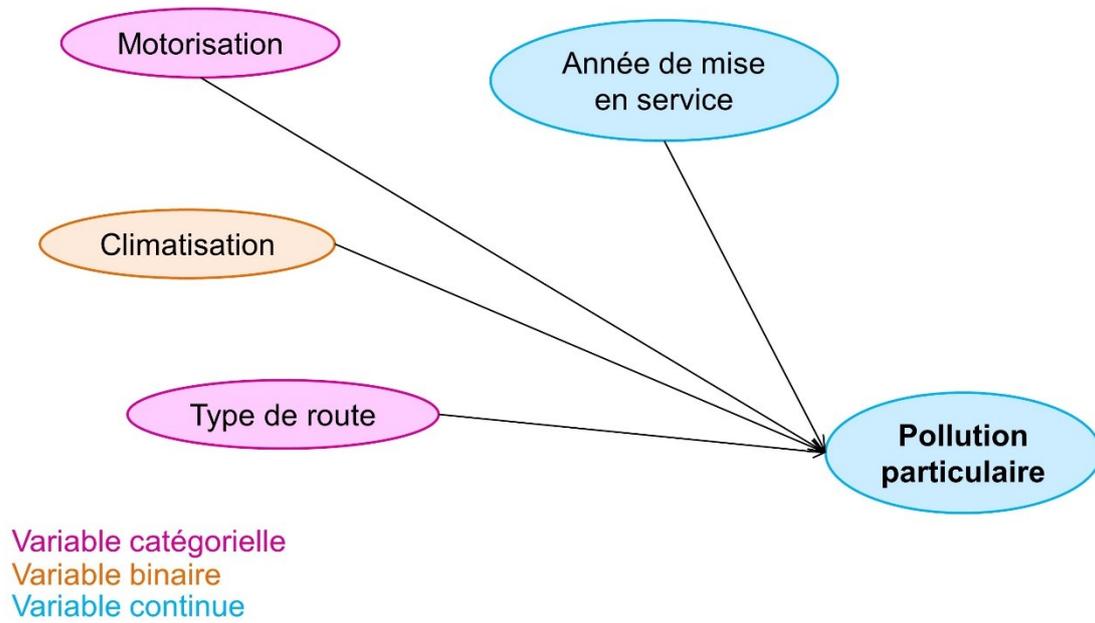


Figure A. 5. GAD montrant les caractéristiques techniques des véhicules pouvant influencer la pollution particulaire entrant dans les véhicules

A.2.6. SCORE DE DESIGN DU POSTE DE CONDUITE

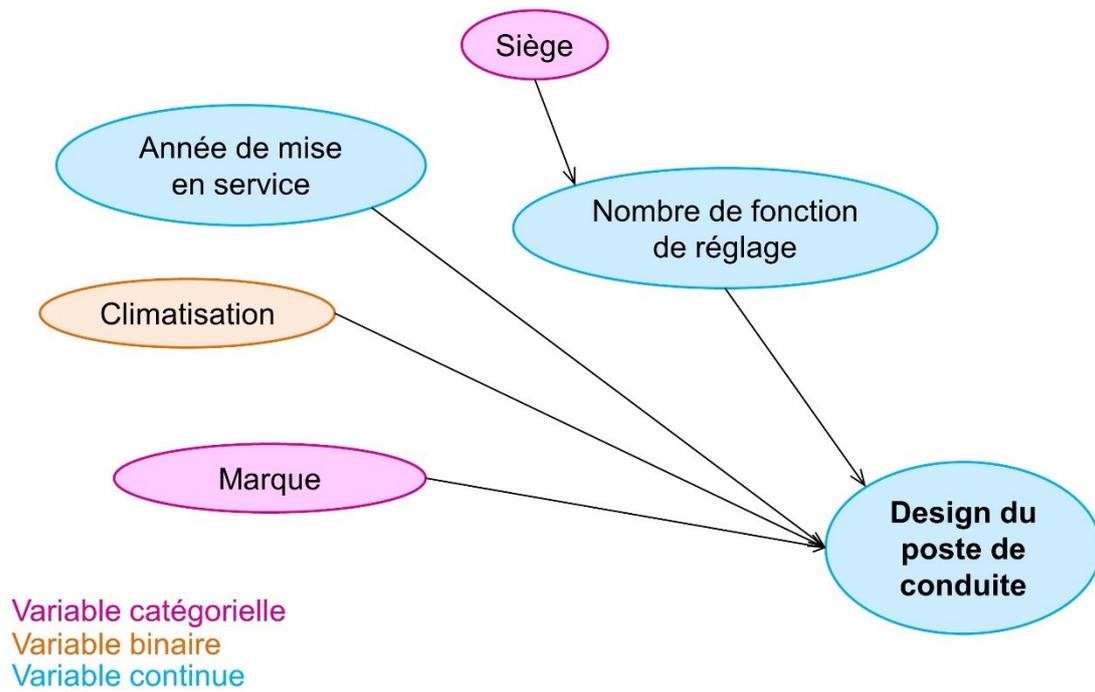


Figure A. 6. GAD montrant les caractéristiques techniques des véhicules pouvant influencer les scores de design de poste de conduite