



LITRA

Informationsdienst für den öffentlichen Verkehr
Service d'information pour les transports publics
Servizio d'informazione per i trasporti pubblici
Surveysch d'informaziun per il traffic public



En route vers des transports publics climatiquement neutres

Publication du Prix LITRA

Avant-propos – Les TP vers (encore) plus de durabilité

Le transport public bénéficie, à raison, d'une bonne image en Suisse en termes de durabilité. Il marque des points dans les trois dimensions du développement durable :

Il est écologique

L'empreinte énergétique et spatiale spécifique est nettement plus faible que celle du transport individuel et donc ses effets sur l'environnement sont en moyenne moindres que le TIM.

Il est économique

Le transport public forme la colonne vertébrale de l'espace économique et social suisse, aussi bien dans les agglomérations que dans les campagnes. La qualité du raccordement aux TP est fortement corrélée au développement d'une ville ou d'une région. L'exemple du S-Bahn zurichois en est un exemple impressionnant.

Il est socialement acceptable

Les TP en Suisse est de haute qualité et accessible à tous physiquement et financièrement, notamment grâce à un important cofinancement de la puissance publique et à des prescriptions légales ciblées.

Il existe malgré tout un potentiel d'amélioration, en particulier dans le domaine de l'écologie. Les bons indicateurs sont principalement dus au transport ferroviaire, dans lequel la Suisse affiche d'excellents résultats grâce à une électrification complète et une production d'électricité très largement décarbonée. Mais dans le transport public par route, le besoin d'action est urgent : En effet, le transport par bus est encore largement basé sur des moteurs thermiques au diesel. De plus, les taux d'occupation de nombreuses lignes de bus sont si bas que les émissions spécifiques par personne-kilomètre parcouru sont à peine inférieures à celles du TIM.

Les entreprises de TP ont reconnu cette situation et se préparent à convertir leur flotte de véhicules aux modes de propulsion sans émissions, en conformité avec la stratégie énergétique de la Confédération, qui prescrit l'abaissement des émissions de gaz à effet de serre en Suisse à un niveau supportable pour le climat. Cette conversion, qui apparaît simple au premier abord, demande des efforts considérables, car il ne suffit pas uniquement de remplacer des véhicules avec des moteurs diesel par des véhicules avec des moteurs électriques.



Illustration 1 | CarPostal exploite déjà des bus à batterie dans la région de Sarnen (OW)

Les lignes de bus et de CarPostal doivent être entièrement repensées afin de prendre en compte les concepts de rechargement. La recharge doit-elle être effectuée sur le parcours ou au dépôt ? Il faut pour cela prendre en compte les temps d'immobilisation, obligeant à revoir entièrement la planification de zones d'exploitation complètes. CarPostal a développé les principes de calcul pour la conversion de ses lignes. Les véhicules pourront être achetés sur cette base, dans la mesure où ils seront déjà disponibles sur le marché dans la taille et avec le niveau d'équipement nécessaire. Toutes les lignes ne sont pas encore adaptées pour une conversion à l'électrique.

Le deuxième obstacle est la mise à disposition de l'infrastructure de recharge. Outre la définition des sites pertinents, l'architecture en amont du réseau du fournisseur local d'énergie doit disposer d'une capacité suffisante. Dans le cas contraire, le réseau doit être développé. Comme autrefois lorsqu'il a fallu développer le réseau de stations-service pour essence et diesel, nous ne sommes qu'au début.

Une fois ce point réglé, suivra le plus gros obstacle qui est le financement. Un bus électrique coûte aujourd'hui environ le double d'un bus diesel et comme il faut aussi financer l'infrastructure de recharge, le coût d'exploitation est aujourd'hui (encore) plus élevé qu'un réseau diesel. Une des raisons est également que le diesel est encore actuellement mis à disposition aux exploitants de TP à un prix avantageux grâce au remboursement de l'impôt sur les huiles minérales.

La hausse des coûts peut être répercutée sur les commanditaires, mais à condition que la Confédération et les cantons disposent des budgets correspondants pour absorber ce surcoût. Si ce n'est pas le cas, la hausse des coûts se fera au détriment des offres actuelles et exigera d'effectuer un arbitrage difficile entre les différents intérêts.

La conversion aux systèmes alternatifs de propulsion est donc un projet complexe et à long terme pour l'ensemble du secteur. Nous sommes prêts, mais nous avons besoin du soutien des commanditaires et de nos partenaires. Cette publication de la LITRA tombe donc à point nommé. Je me réjouis des projets passionnants qui nous attendent et je suis convaincu que les TP suisse saura continuer à jouer un rôle moteur dans le domaine du développement durable.



Christian Plüss

PDG CarPostal,
Membre du Conseil de direction
de la Poste Suisse et
Membre du Comité directeur
de la LITRA

En route vers des transports publics climatiquement neutres

En 2050, selon l'objectif du Conseil fédéral, la Suisse ne devrait pas émettre plus de gaz à effet de serre que ce que les réservoirs naturels et techniques sont en mesure d'absorber. Cet objectif «zéro net» représente une tâche herculéenne, en particulier pour le secteur de la mobilité. Les transports publics sont prédisposés à maîtriser la tâche. Aujourd'hui, les chemins de fer, les trams et les trolleybus assurent déjà la majeure partie des prestations de transport en Suisse de manière électrique, et ceci avec une grande proportion d'électricité renouvelable. Bien que le transport public ne représente que quatre pour cent des émissions de CO₂ du secteur de la mobilité, il peut contribuer à atteindre les objectifs climatiques de la Suisse en augmentant sa part du trafic total et en recourant à des carburants durables.

Les bus constituent le meilleur levier sur la voie de la neutralité climatique des transports publics. Ils assurent au moins dix pour cent du transport public de passagers et sont responsables d'une grande partie des gaz à effet de serre dans les transports publics. En plus des 2400 bus exploités par CarPostal, environ 3000 bus transportent des passagers sur les lignes régionales et urbaines. La majorité des véhicules fonctionnent encore au diesel aujourd'hui. Mais les villes, en particulier, offrent de bonnes conditions pour un passage aux bus électriques. Si l'on tient compte du fait que la production et l'élimination des véhicules et des batteries émettent également des gaz à effet de serre, les bus électriques émettent de 75 à 90 pour cent moins de gaz à effet de serre que les bus diesel. Ils constituent ainsi le «complément vert» des 800 tramways, 550 trolleybus et de RER qui desservent déjà les villes suisses aujourd'hui.

Des bus à batterie au lieu des bus diesel

En mars 2021, le Conseil fédéral a adopté un rapport d'experts, suscité par le postulat «Encourager le passage des véhicules de transport public aux énergies propres» (postulat 19.3000). L'Office fédéral de l'énergie y développe une perspective à moyen terme pour la reconversion des transports publics par bus. «Les bus à batterie arrivent en premier en tant qu'option de propulsion non fossile pour le remplacement des bus diesel d'un point de vue global en termes de coûts et d'avantages environnementaux», indiquent les experts de l'OFEN.

Selon leur estimation, le transport local peut être électrifié plus rapidement que le transport régional de passagers dans la mesure où dans les villes, les lignes de bus sont plus courtes et la topographie moins exigeante. En outre, dans de nombreux endroits, les lignes aériennes existantes peuvent être utilisées pour le fonctionnement des trolleybus à batterie. Le rapport présente trois scénarios d'électrification de la flotte de bus à des rythmes différents. Dans le scénario moyen («réaliste»), un quart des remplacements dans les transports locaux seront déjà des bus électriques à court terme (2023). Cette proportion augmentera régulièrement au cours des années suivantes. À partir de 2030, seuls des bus à batterie seront achetés. Si ce scénario est suivi, 1300 bus diesel seront remplacés par des bus à batterie dans toute la Suisse entre 2023 et 2034. D'ici 2034, 70 pour cent de la flotte de bus urbains seront composés de bus électriques. Les émissions de gaz à effet de serre pourraient ainsi être réduites de 60 pour cent par rapport à 2023.

Incitation financière pour des propulsions sans combustibles fossiles

Des technologies matures sont disponibles pour l'électrification sous la forme de trolleybus à batterie et de bus à batterie. Les récentes décisions en matière de politique des transports laissent espérer que l'électrification des réseaux de bus urbains pourra également être maîtrisée financièrement à moyen terme, malgré les coûts actuellement encore plus élevés des véhicules électriques. Un pilier central est la nouvelle loi sur le CO₂, à condition qu'elle passe le cap du referendum en juin 2021. La loi pose une incitation financière pour les exploitants de bus à passer à des propulsions non fossiles à partir de 2026 : Le diesel sera plus cher pour eux, car ils ne seront plus exemptés de l'impôt sur les huiles minérales, mais en contrepartie, le gouvernement fédéral disposera de fonds supplémentaires qu'il affectera à la promotion des propulsions neutres en CO₂ et renouvelables dans les transports publics routiers. Un financement supplémentaire pour la transformation des flottes de bus pourrait provenir du fonds climatique établi par la loi sur le CO₂.

«Les bus à batterie arrivent en premier en tant qu'option de propulsion non fossile pour le remplacement des bus diesel.»

Rapport d'expertise de l'OFEN

Le secteur des transports contribue significativement à la réduction des émissions.

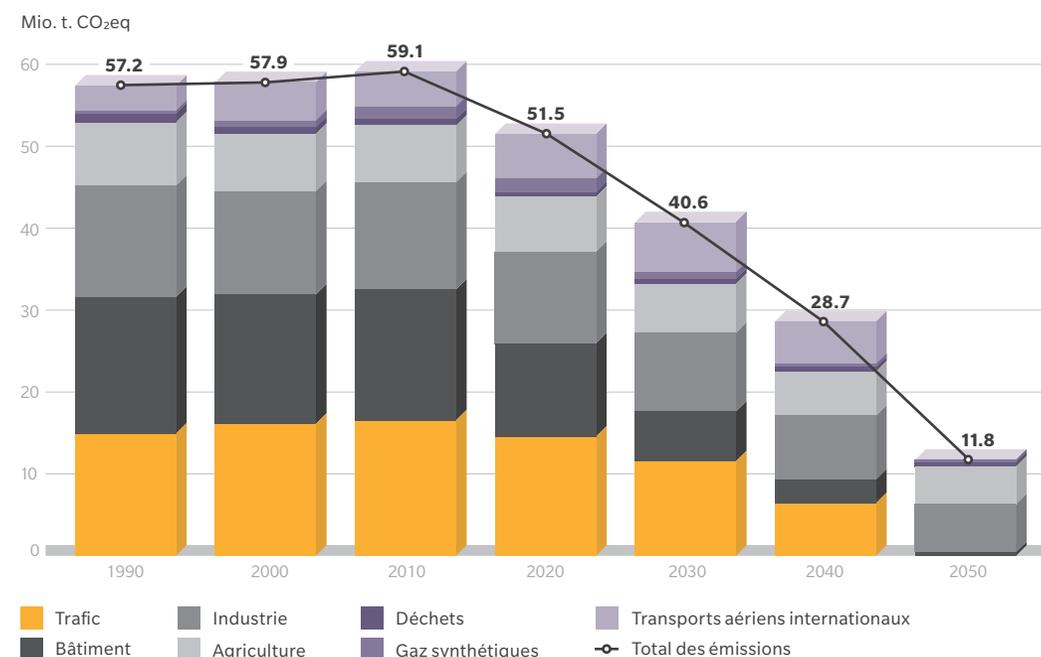


Illustration 2 | Objectif «Zéro net» du Conseil fédéral

Les bus à batterie électrisent les villes suisses

En janvier 1988, Zermatt mettait en service son premier bus à batterie. Aussi spectaculaire que soit le pas franchi par la station touristique valaisanne, il s'inscrit dans une longue tradition suisse de transport urbain électrifié. En effet, en 1888, le premier tramway circulait déjà sur les bords du lac Léman entre Vevey et le château de Chillon. Ce mode de transport s'est considérablement développé au fil des décennies et, en 1950, il représentait un réseau national de 400 km. En 1932, Lausanne créait la première ligne de trolleybus. Les bus électriques avec lignes aériennes de contact ont connu un essor dans la période d'après-guerre. En 1970, ils desservaient un réseau de plus de 300 km dans les villes suisses.

Très tôt, le moyen de transport électrique a été concurrencé par le bus diesel, peu coûteux et indépendant des rails et des lignes aériennes de contact. La longueur du réseau de transport local dans toute la Suisse a dépassé la barre des 1000 km au milieu des années 1970. À ce jour, les bus à énergie fossile dans les villes suisses couvrent parfois 40 pour cent, parfois 80 pour cent de la prestation de transport et même jusqu'à 100 pour cent dans le cas de Lugano. Toutefois, ce moyen de transport est de moins en moins accepté. Sous l'impulsion du débat sur le climat, l'heure est à l'électrification complète des réseaux de bus urbains. Neuf des dix plus grandes villes suisses poursuivent aujourd'hui une stratégie d'électrification claire, et même Lugano, qui n'a encore pris aucune décision, s'oriente dans cette direction après avoir évalué les bus à hydrogène et électriques.

Bâle doit changer d'ici 2027

À l'avenir, les entreprises de transport veulent transporter leurs passagers en grande partie de manière électrique et avec de l'électricité propre. La compagnie de transport public de Bâle, Basler Verkehrsbetriebe, a le moins de temps pour le changement. Elle est dans l'obligation légale d'exploiter sa flotte de bus avec 100 pour cent d'énergie renouvelable d'ici 2027. Une bonne soixantaine de bus à batterie assureront cette tâche à partir de 2022, et le même nombre viendra s'y ajouter en 2027.

Les propulsions électriques propres sont également en vogue ailleurs. Dans les sept villes suisses dotées d'un réseau de trolleybus, le bus à fil connaît une renaissance en s'émancipant de la ligne de contact : équipé d'une batterie à traction, il sera en mesure de parcourir certaines parties de l'itinéraire sans ligne aérienne de contact. Ce «Dynamic Charging» (également nommé : «In-Motion-Charging»/IMC) permet une extension des lignes de trolleybus ne nécessitant pas ou peu de construction de nouvelles lignes aériennes de contact. En Suisse orientale, Saint-Gall et Winterthur misent sur les trolleybus à batterie. En plus des trois lignes de trolleybus existantes, Winterthur souhaite électrifier deux autres d'ici 2026 et construit 5 km de nouvelles lignes aériennes de contact à cette fin. Une fois cette étape de l'électrification achevée, 90 pour cent des passagers voyageront dans des bus électriques. Lucerne ouvre un axe de développement au nord-est de la ville en prolongeant une ligne de trolleybus sur laquelle circulent des bus à double articulation très performants.

Recharge dans le garage ou sur le parcours

Les bus à batterie représentent une autre tendance. Deux technologies de charge sont à l'étude pour la recharge des accumulateurs. Les Verkehrsbetriebe Zürich ont l'intention de recharger les bus à batterie, utilisés en complément des trolleybus, au dépôt. D'autres villes favorisent les bus qui se rechargent sur le parcours. Les Verkehrsbetriebe Schaffhausen montrent comment cela peut être réalisé. À partir de 2028, seuls des bus alimentés par des batteries circuleront sur la ligne de trolleybus urbaine et les six lignes de bus diesel, qui seront rechargés après avoir atteint leur terminus à la gare de Schaffhouse. Grâce à la technique de recharge rapide, la recharge durera seulement trois minutes en moyenne. Les lignes aériennes de contact de la ligne de trolleybus seront démontées. Le bus TOSA, que les Transports publics genevois utilisent sur la ligne 23 depuis 2018, se recharge également sur le parcours : le bus fait le plein d'électricité sur 13 bornes de recharge rapide sur son parcours de 12 km pendant que les passagers montent et descendent.

À l'avenir, les villes suisses exploiteront des tramways, des trolleybus et des bus à batterie avec différents types de recharge. Afin de satisfaire tous les besoins, plusieurs technologies seront probablement utilisées en parallèle. Par exemple à Bienne, où des trolleybus à batterie, mais également des bus à

batterie avec des stations de recharge décentralisées sont prévus. La ville de Berne veut remplacer les diesel d'une part par des bus qui se rechargent sur le parcours avec des stations de recharge rapide au niveau des terminus (lignes 17 et 19), mais également par des bus qui se rechargent au dépôt (ligne 28) ou par une nouvelle ligne de tram (ligne 10). En outre, une ligne précédemment exploitée avec des autobus à gaz et diesel sera à l'avenir desservie par des trolleybus à batterie, en partie sans caténaire.

Les jours du bus diesel sont comptés

L'électrification de la circulation des bus urbains est en cours. Maintenant que les décisions fondamentales ont été prises, les entreprises de transport se concentrent sur les questions techniques, opérationnelles et financières. Cependant, le bus diesel, flexible et rentable, restera une partie importante des flottes de bus au moins pendant une phase de transition, et de nouveaux véhicules de ce type – souvent avec une technologie hybride – ont été récemment achetés. À long terme toutefois, les jours de la propulsion fossile semblent comptés. Un porte-parole de BERNMOBIL s'exprime en ces termes : «Nous partons du principe que l'achat actuel de bus hybrides sera la dernière acquisition de véhicules à propulsion fossile.»

Saint-Gall veut se passer des bus diesel d'ici dix ans.

Nombre de véhicules

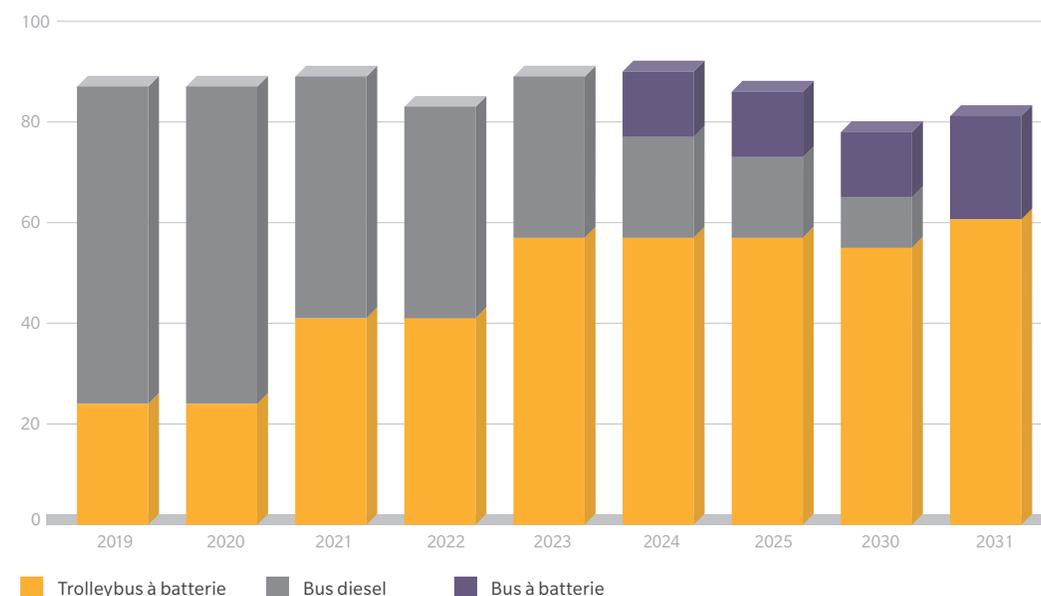


Illustration 3 | Electrification de la flotte de bus de Saint-Gall

Comparaison de trois concepts de recharge pour les bus à batterie

Si une entreprise de transport souhaite exploiter des bus à batterie, il lui faut un concept de charge cohérent. À l'EPFL, Alain Azzi a conçu un modèle permettant de résoudre cette tâche délicate dans la pratique. Le mémoire de master a été rédigé au Laboratoire pour le transport et la mobilité (prof. Michel Bierlaire) et a reçu le prix LITRA à l'automne 2020.

Azzi fonde son étude sur l'exemple du réseau de bus des Transports publics de la région lausannoise (tl). Les 25 lignes de bus diesel – telle est la mission qu'il s'est imposée – doivent être électrifiées dans un délai de dix ans. L'auteur concentre son approche sur les bus électriques qui tirent tout ou une partie de leur énergie motrice à partir de batteries. Il envisage trois technologies de recharge (voir le tableau) :

- a** | recharge nocturne au dépôt des véhicules,
- b** | recharge pendant les arrêts aux terminus ou sur les bornes de recharge rapide des arrêts de bus,
- c** | recharge pendant la conduite sous ligne aérienne de contact.

Cette dernière technologie permet aux trolleybus équipés de batteries de traction de fonctionner sur des tronçons de voie sans ligne aérienne de contact.



Recharge nocturne (ONC)

Recharge aux arrêts (OPC)

Recharge par fil (IMC)

Type de batterie	densité énergétique élevée	puissance de recharge élevée	densité énergétique élevée
Poids de la batterie	lourd	léger ou lourd (en fonction du type de recharge)	léger
Autonomie	90–150 km	20–30 km	30 km
Vitesse de recharge	lente	rapide	lente
Infrastructure de recharge	au dépôt	aux terminus/arrêts	Ligne aérienne de contact
Temps de recharge	3–5 h	0.5–6 min.	> 50 pour cent du temps de trajet

Illustration 4 | Trois systèmes de recharge pour les bus électriques conformément à l'étude d'Alain Azzi

Préférence pour la recharge aux terminus

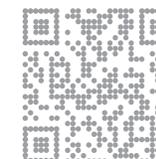
Le résultat de l'étude est étonnamment clair : pour pratiquement toutes les lignes, la recharge au niveau des terminus s'avère être la meilleure option. Selon Azzi, la recharge nocturne est exclue en tant que technologie de recharge, car une seule charge de batterie ne permet pas d'assurer l'autonomie journalière requise (environ 250 km) et les durées d'utilisation (17,5 heures et plus). Selon l'estimation de l'auteur, les coûts d'acquisition élevés des trolleybus à batterie plaident en faveur d'une recharge pendant le parcours. Selon les calculs d'Azzi, l'électrification du réseau de bus pourrait être mise en œuvre progressivement en huit ans. Son étude montre également à quelles étapes de mise en œuvre l'électrification de l'ensemble du parc de bus serait réalisable dans le cadre d'un budget clairement déterminé pour l'achat des véhicules et le carburant.

L'analyse se base sur le réseau de bus de Lausanne, mais repose sur une série d'hypothèses et de simplifications. Les itinéraires et les plans d'intervention sont également traités en tant que grandeurs fixes. Il en ressort un modèle généralisable qui peut être utilisé pour étudier l'électrification d'autres réseaux de bus. «Notre modèle devrait constituer une aide précieuse pour les entreprises de transport urbain, car il peut être transposé à n'importe quelle ligne de bus en Suisse moyennant quelques adaptations mineures», précise Alain Azzi. Alors que les entreprises de transport aiment se concentrer sur les lignes individuelles, le modèle leur fournit un instrument qui leur permet d'avoir une vue d'ensemble de l'électrification de la flotte. Pour appliquer le modèle sur son propre réseau de bus, une entreprise de transport a principalement besoin de données sur les itinéraires et le parc de véhicules. Celles-ci sont combinées avec des données d'informations géographiques des arrêts de bus et des données météorologiques pour la modélisation du futur réseau de bus électrifié.

Un modèle basé sur la consommation d'énergie

En tant que grandeur de référence pour l'électrification, le modèle de M. Azzi définit la consommation d'énergie pour chaque ligne. Pour la calculer, l'auteur tient compte de grandeurs physiques telles que le poids du véhicule, la distance parcourue et les différences d'altitude, mais également la récupération de l'énergie. Dans une deuxième étape, il détermine les besoins énergétiques pour le chauffage, la climatisation et les auxiliaires en tenant compte des données météorologiques. Une fois les besoins énergétiques déterminés pour chaque ligne, il est possible de tirer des conclusions sur les technologies de recharge utilisables. La perspective technique est complétée par une perspective économique : Les coûts d'investissement et d'exploitation sont calculés pour chaque ligne, avec et sans électrification. Sur cette base, une stratégie d'électrification optimale en termes de coûts est élaborée. Elle montre quelle technologie de chargement est préférable pour chaque ligne individuelle et dans quel délai l'électrification peut être mise en œuvre dans le cadre d'un volume d'investissement donné.

Le travail d'Alain Azzi intitulé «Étude en vue d'une électrification complète du réseau de bus tl à l'horizon 2030» est disponible sur : litra.ch/fr/alainazzi/



Depuis 2011, la LITRA encourage les jeunes talents du transport public avec le Prix LITRA. Trois mémoires de bachelor et de master sur le thème de la mobilité sont décernés chaque année. En savoir plus !



«Recharger avec un impact urbanistique minimal»

Laurent Mudry est responsable de la mise à disposition du réseau de bus des Transports publics de la région lausannoise (tl), sur lequel Alain Azzi a basé son étude académique (cf. p. 8–9). Dans l'interview, l'expert en transport explique comment les tl prévoient de mettre en œuvre l'électrification des transports urbains, y compris des lignes de bus diesel.

Monsieur Mudry, dix lignes de trolleybus et deux lignes de métro constituent l'épine dorsale des transports publics à Lausanne. Quatre passagers sur cinq voyagent «à l'électricité», produite de manière durable. Ce pourcentage peut-il être encore augmenté ?

Laurent Mudry | C'est effectivement un taux très élevé, comparé à d'autres réseaux suisses. Et il va continuer à augmenter au cours des prochaines années : notre ambition est d'atteindre le 100 pour cent pour le trafic d'agglomération à l'horizon 2030. Pour réussir ce saut vers une flotte plus éco-responsable, nous nous basons sur plusieurs axes. Le système route va évoluer avec une croissance au niveau des trolleybus articulés, soit simples soit doubles. Ces douze prochains mois, notre flotte de trolleybus passera de 80 à 95 unités. Le deuxième axe est l'arrivée du nouveau tram à l'horizon 2026. Cette année il y aura le démarrage des travaux pour la liaison qui remplacera les lignes de bus diesel entre Lausanne-Flon et Renens et qui sera prolongée plus tard jusqu'à Bussigny. À l'horizon 2028/2030, nous aurons le nouveau métro M3, reliant Lausanne-Gare avec la Blécherette. Enfin, nous avons l'intention d'équiper progressivement de bus à batterie les lignes restantes desservies aujourd'hui avec des bus diesel.

Le Conseil fédéral a défini comme objectif stratégique de réduire les émissions de CO₂ à «zéro net» d'ici 2050. Qu'est-ce que cela signifie pour les 150 bus diesel que les tl exploitent actuellement dans les transports urbains de Lausanne ?

L. Mudry | Les tl ont entrepris dans les trois dernières années une grande étude pour préparer cette transition énergétique. Actuellement nous sommes en train d'écrire la vision pour l'année 2030. Cette stratégie montrera comment arriver en 2030 sans émissions de CO₂ au niveau de l'exploitation du système route. Le travail de M. Azzi nous a aidé à concevoir une feuille de route pour les dix prochaines années. Il a permis de préciser le déploiement des investissements en commençant par le meilleur ratio coûts/résultats et ainsi d'obtenir le plus vite possible un effet de décarbonation particulièrement important.

Le renouvellement de la flotte au profit de moteurs moins gourmands nous a permis de réduire la consommation de diesel de l'ordre de 10 à 15 pour cent au cours des dernières années. L'étape suivante sera de remplacer les bus diesel par des bus électriques à batterie sur les 25 lignes urbaines. L'électrification de la première ligne est prévue dans le courant du deuxième semestre 2022. Puis, dès 2023 nous remplacerons progressivement les autres bus diesel qui arrivent en fin de vie. Nous commencerons avec la ligne la plus facile sur le plan topographique et nous terminerons avec la plus difficile, car nous nous attendons à une amélioration de la technologie ces prochaines années.



«Si notre réseau passait d'un seul coup en mode tout électrique, la consommation électrique serait multipliée par cinq.»

Laurent Mudry

Vous souhaitez utiliser deux systèmes de charge par conduction pour les bus de batteries : la charge au dépôt ou la charge au terminus avec des mâts de recharge. Comment déciderez-vous quel système de recharge correspond à quelle ligne ?

L. Mudry | Cela dépendra de la topographie et des kilomètres parcourus chaque jour. En effet, la technique de recharge au dépôt est aujourd'hui insuffisante pour une ligne avec une forte pente ou quand la distance parcourue est supérieure à 300 km/jour. Dès lors le trolleybus à batterie ou la recharge au terminus est nécessaire. Il ne faut pas oublier que la recharge au terminus a des impacts sur l'utilisation de l'espace public. Les stations de recharge nécessitent de l'espace et elles doivent s'inscrire avec un impact urbanistique minimal, car elles peuvent faire l'objet d'oppositions de la part des riverains.

La construction des lignes aériennes de contact est également controversée dans certains cas. Comment faire face à cette situation ?

L. Mudry | Le trolleybus a une longue tradition ici. Lausanne a été la toute première ville à introduire des trolleybus en 1932. À cette époque, c'était déjà en raison de la topographie. Aujourd'hui, la technologie éprouvée nous offre de nouvelles possibilités. La batterie embarquée dans les trolleybus va nous aider à étendre le réseau de trolleybus sans continuer à installer de nouvelles lignes aériennes de contact dans la ville. Il y a cependant encore deux ou trois endroits qui devront en être équipés.

Quels sont les défis à l'électrification des lignes de bus diesel urbaines ?

L. Mudry | L'autonomie des bus électriques est encore limitée. Nous attendons ici des améliorations de la part de l'industrie. Un autre défi majeur est le financement : un bus à batterie est presque deux fois plus cher qu'un bus diesel. Nous avons besoin de nouveaux instruments pour financer l'électrification de notre flotte, car on ne peut pas reporter ce coût sur le prix des billets sans risquer de perdre la clientèle. Et un dernier point qui ne doit pas être sous-estimé, c'est d'assurer l'approvisionnement énergétique. Si notre réseau 2021 passait d'un seul coup en mode «tout électrique», la consommation électrique du système route serait multipliée par cinq. Nous devons en conséquence nous assurer de la capacité d'achat de cette énergie électrique durable et également nous assurer de la capacité d'acheminement de cette énergie au bon endroit.

Une tâche herculéenne sur le Züriberg

Chaque jour ouvrable, environ un million de personnes se déplacent dans la ville de Zurich avec les Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ). Environ 85 pour cent des passagers des VBZ voyagent déjà à l'électricité renouvelable dans les trams et les trolleybus. En outre, une bonne vingtaine de lignes de bus urbaines fonctionnent au diesel. Selon la stratégie des VBZ, celles-ci devraient être largement électrifiées d'ici 2030.

Les VBZ prévoient de convertir quatre de leurs sept lignes de bus de quartiers en bus à batterie d'ici à la fin 2021. Les bus sont rechargés au dépôt la nuit, et parfois le jour, pour faire face aux heures de

pointe du matin et de la fin d'après-midi. Plus importante encore, en termes de performances de transport, est l'électrification de quatre lignes de bus articulés très fréquentées, à horaires rapprochés, avec de longues rotations et de fortes pentes. À l'avenir, les trolleybus fonctionnant sur batterie et sans lignes aériennes de contact remplaceront les véhicules diesel. De nouvelles lignes aériennes de contact sont en cours d'installation sur un total de 14 kilomètres. Grâce à la conversion de ces lignes, 60 000 passagers supplémentaires voyageront chaque jour en mode électrique.

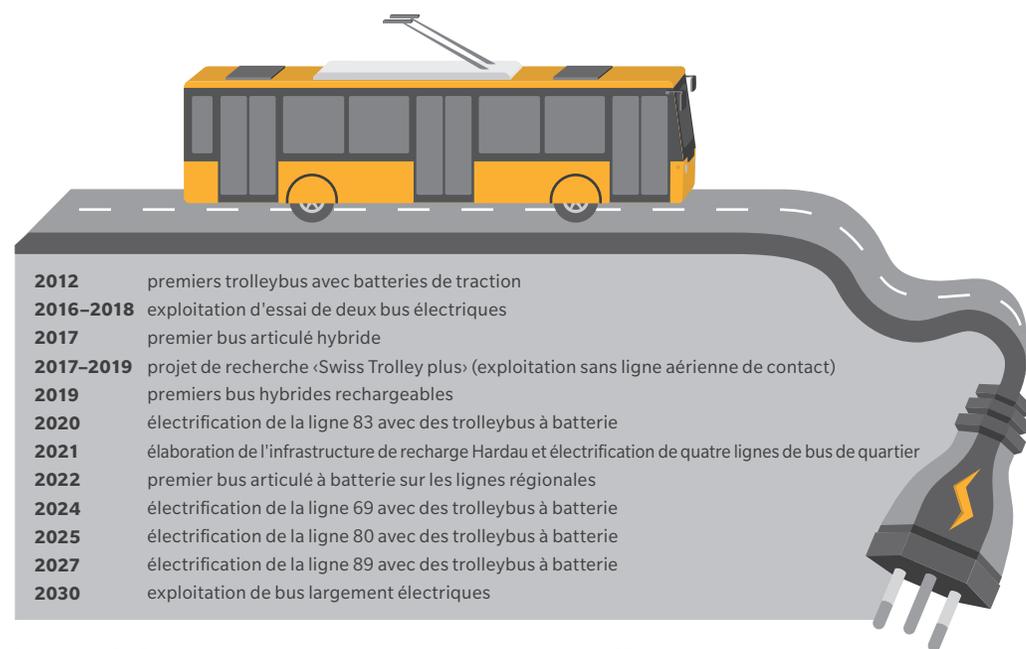


Illustration 5 | Etapes importantes de l'électrification de la flotte de bus de la VBZ

Des projets d'infrastructure complexes

Pour l'électrification des lignes de bus diesel restantes, les VBZ misent sur des bus à batterie qui se rechargent au dépôt, comme c'est le cas pour le système de transport de quartiers. Le dépôt de Hardau sera équipé de bornes de recharge conductrices de 150 kW d'ici fin 2021, ce qui permettra des temps de recharge d'environ deux heures. Ultérieurement, le dépôt de Hagenholz sera également équipé en conséquence. «Il s'agit de projets d'infrastructure complexes impliquant l'acquisition de systèmes de gestion de chargement et d'infrastructures d'atelier et qui nécessitent également des clarifications, par exemple, sur la protection contre les incendies», explique David Sorg, chef de projet Développement du marché VBZ. Une structure normalisée, modulaire et uniforme devrait permettre de ne pas restreindre les achats futurs de véhicules et les extensions de l'infrastructure de recharge.

La capacité des batteries couvre les besoins réguliers. Pour l'instant, les bus à batterie sont encore équipés de chauffages auxiliaires à combustible fossile pour les froides journées d'hiver. Les coûts supplémentaires liés au cycle de vie de ces véhicules par rapport aux autobus diesel dépendent des conditions-cadres telles que le remboursement de la taxe sur les carburants ou les prix de l'électricité. Selon les VBZ, les bus électriques sont actuellement environ deux fois plus chers à l'achat et les coûts au cours du cycle de vie sont environ dix pour cent plus élevés que pour les bus diesel en termes de

calcul du rendement des lignes. Les défis relatifs à l'exploitation sont également considérables: dans la mesure où les bus qui se rechargent au dépôt ne sont souvent pas en mesure de couvrir ainsi la totalité de leur besoin d'autonomie journalière, ils sont échangés contre des bus entièrement chargés pendant la journée. Les VBZ souhaitent coordonner les relais des véhicules avec les plans de service des conducteurs afin d'éviter des surcoûts salariaux. À l'avenir, le centre de contrôle aura également besoin d'informations complètes, par exemple sur l'état de charge des véhicules, afin de pouvoir intervenir en cas de dysfonctionnement.

Assurer la flexibilité

Les transports de remplacement et les transports spéciaux constituent également quelques points de friction pour une flotte entièrement électrique. À Zurich, par exemple, un service de bus pratiquement continu est assuré 24 heures sur 24 pendant les trois jours du Züri Fäscht. Tandis que le trolleybus à batterie ne connaît aucune limite en termes de durée de fonctionnement grâce à l'alimentation continue sur la voie, les temps de recharge des bus à batterie posent ici problème. Pour ces missions, les VBZ s'appuieront sur une flotte partielle de bus hybrides à déploiement flexible jusque dans la première moitié des années 2030. Des solutions pour convertir cette partie de la flotte à des formes de propulsion durables devront être trouvées d'ici cette date.

Compte tenu de la suppression prévue du remboursement de l'impôt sur les huiles minérales en 2026, les coûts supplémentaires des bus à batterie par rapport aux bus diesel diminueront considérablement à moyen terme.

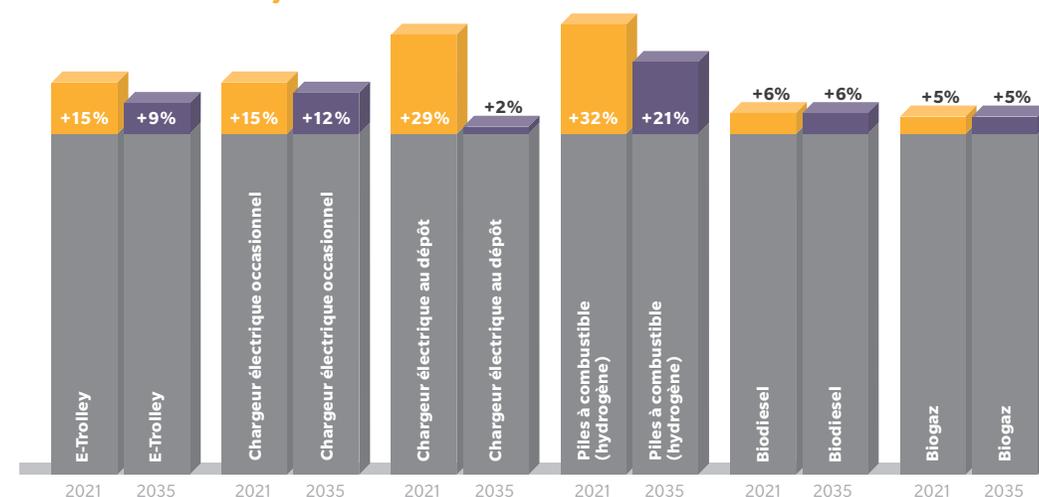


Illustration 6 | Coût supplémentaire d'un bus urbain articulé

Conclusion – À quelle vitesse les bus à propulsion non fossile s'imposeront-ils dans les transports publics?

Contribution de Christoph Schreyer

Le transport public doit être économe et respectueux du climat. Et à première vue, il l'est. Avec seulement 6 pour cent de la consommation totale d'énergie des transports en Suisse, il représente plus de 20 pour cent des prestations du trafic voyageurs et environ 40 pour cent du trafic de marchandises. Et cela avec des émissions de CO₂ en moyenne inférieures de plus de 85 pour cent à celles d'une voiture de tourisme chargée normalement. Ceci n'est pas étonnant, puisque la majorité des véhicules de transports publics sont déjà électriques. Néanmoins, il existe un potentiel d'amélioration. Car environ 5400 bus diesel sont encore en service et ils émettent environ 2 pour cent des émissions de CO₂ des transports suisses. On trouve encore fréquemment des bus diesel dans le trafic régional de voyageurs, mais aussi dans les villes et les agglomérations. La Commission des transports et des télécommunications du Conseil national (CTT-N) a demandé au Conseil fédéral comment et dans quels délais ceux-ci pourraient être remplacés par des alternatives non fossiles. Le Conseil fédéral a publié un rapport à ce sujet en mars 2021.

Dans les années à venir, entre 400 et 500 des bus diesel actuellement utilisés devront être remplacés chaque année en raison de leur âge. Le rapport du Conseil fédéral montre que, du point de vue des coûts et de l'environnement, les bus électriques, en particulier, constituent des alternatives appropriées. Les bus à batterie avec recharge au dépôt, dans certains cas également les bus se rechargeant en route et, si un réseau de trolleybus est déjà en place, des trolleybus à batterie font partie de ces alternatives. Lorsque l'électrification directe n'est pas possible, il existe aussi à long terme un créneau, bien que relativement coûteux, pour les bus à piles à combustible.

Le passage à des technologies d'entraînement non fossiles est particulièrement adapté lorsque les bus diesel peuvent être remplacés l'un par l'autre. Cela dépend, entre autres, de la longueur des trajets, de la topographie, de la fréquence de passage, des éventuels renforcements aux heures de pointe, mais aussi des temps de rebroussement aux terminus. Le coût augmente si des bus supplémentaires sont nécessaires pour un fonctionnement sans énergie fossile. Cela n'a généralement aucun sens sur le plan économique ou écologique. En effet, même les bus (électriques) sans énergie fossile ont besoin d'énergie lors de leur fabrication et provoquent alors des émissions de gaz à effet de serre. À court terme, le remplacement est particulièrement intéressant pour le trafic local dans les villes et les grandes agglomérations. Dans certains cas, des réseaux de trolleybus y existent déjà et peuvent être étendus. En outre, la longueur des trajets et les conditions topographiques ne sont pas aussi exigeantes que dans le trafic régional de voyageurs. Le rapport souligne également les développements technologiques rapides dans le domaine des bus à batterie. Par exemple, la densité énergétique des batteries, et donc leur autonomie, ne cesse d'augmenter, alors que les coûts des systèmes diminuent. Cela augmente considérablement le potentiel d'utilisation des bus à batterie.



Prix LITRA 2020

Alors, comment ces bus à propulsion non fossile peuvent-ils faire une percée? Le Conseil fédéral estime qu'il faut d'abord exploiter au maximum les possibilités de financement nationales existantes, telles que la compensation du CO₂ pour les importateurs de carburant (Fondation KliK) et le programme en faveur du trafic d'agglomération. L'instrument de la compensation du CO₂ a été considérablement renforcé avec la révision de la Loi sur le CO₂. Dans la même révision, il a été décidé de supprimer le remboursement de l'impôt sur les huiles minérales par étapes à partir de 2026, dans un premier temps pour le trafic local. Cela améliore la position des propulsions alternatives dans les appels d'offres. Les coûts supplémentaires du trafic régional de voyageurs, commandé et financé conjointement par la Confédération et les cantons, peuvent être couverts par la Confédération jusqu'en 2025 au moyen du crédit d'engagement ordinaire. Les coûts supplémentaires dans le trafic local constituent un défi, là où la Confédération n'a pas de rôle de financement. Cependant, plusieurs cantons et villes ont déjà décidé de remplacer complètement, à moyen terme, leurs flottes de bus par des bus à moteurs à propulsion alternative non fossile. Il serait donc possible de soutenir ces efforts de conversion avec l'argent du nouveau fonds climatique si la loi sur le CO₂ est acceptée en votation populaire.

Dans toutes ces considérations sur la conversion, la question importante est toujours de savoir comment utiliser de la manière la plus appropriée les rares fonds publics. Après tout, l'impact le plus important des transports publics sur l'environnement et le climat est le transfert des trajets du TIM vers les TP. Cela exige un service excellent, orienté vers le client, qui doit être constamment optimisé. Un rythme de conversion un peu plus lent a donc aussi ses avantages. Les futures générations de bus à propulsion non fossile seront à la fois plus efficaces et moins chères. Cela permettra de réduire les coûts de conversion et de maintenir une offre de TP attrayante.



Christoph Schreyer
chef de la section Efficacité
Énergétique des transports
à l'Office fédéral de l'énergie

Prix LITRA 2020

La LITRA en bref

La LITRA est une association au sens des art. 60 et suivants CC, avec son siège à Berne. Elle représente les entreprises de transport public de Suisse, les cantons, des institutions scientifiques, toutes les entreprises importantes de l'industrie et des services, le secteur de la construction, les entreprises du commerce, de l'artisanat et de la planification.

La LITRA a été fondée en 1936 comme «Ligue suisse pour l'organisation rationnelle du trafic» (= LITRA) et s'est renommée «Service d'information pour les transports publics» en 1977.

Mentions légales

Éditrice

LITRA – Service d'information
pour les transports publics
Spitalgasse 32 | 3011 Berne
www.litra.ch

Coordination générale

Michael Ruefer

Rédaction

Benedikt Vogel

Traduction

Céline Simon, Berlin

Sources

Illustration 1 | CarPostal

Illustration 2 | Stratégie climatique
à long terme de la Suisse/OFEV

Illustration 3 | Verkehrsbetriebe St. Gallen

Illustration 4 | A. Azzi

Illustration 5 | KALUZA+SCHMID/Déclarations VBZ

Illustration 6 | Rapport du Conseil fédéral
du 12.03.2021 sur le postulat 19.3000/OFEN

Conception

KALUZA + SCHMID, St.Gallen

Impression

A. Walpen AG, Gossau

Tirage

500 exemplaires

