



σtpg

GED #717824

Électrification du réseau de bus des TPG

Olivier Augé
Responsable Ingénierie

10^e Forum Energie durable
Soleure, 30.11.2023



VÖV UTP

Verband öffentlicher Verkehr
Union des transports publics
Unione dei trasporti pubblici

transport publics genevois

Chiffres clés du rapport annuel 2022

- 32'391'000 km au total
(~ 88'742 km/jour)
- 507 millions de personnes-kilomètres/an
(~1'389'000 personnes-kilomètres/jour)
- 2210 collaborateurs
 - Exploitation: 1566
 - Technique: 342
 - Administration: 304
- 478 véhicules
(tramways, trolleybus bus hors sous-traitance)
- 77 lignes



Flotte 2023

Tramways, trolleybus et bus

126 tramways



104 trolleybus



12 bus électriques



232 bus diesel (189 articulés)



4 navettes

1

Transition énergétique: 1^{re} phase d'innovation

Les défis de la transition énergétique:
le prototype

Historique, Innovation

Partenariat public-privé: 2010-2015



- Transporter des passagers, pas des batteries
- Première mondiale de bus articulé électrique (132 passagers)
- Une batterie de seulement 38 kWh
- Recharge flash en 20 secondes
- Inauguration pendant le Congrès Mondial UITP 2013 à Genève



② Transition énergétique: la ligne 23

Le projet «Phare».

Retour d'expériences de 2018 à 2023

Déploiement d'une ligne complète – L23

Transition énergétique d'une ligne diesel

- Après le prototype, la ligne
- Projet Phare soutenu par la Confédération
- 1000 tCO₂/an
- 12 bus articulés (18m75)
- 2 terminus (400 kW, < 5 min)
- 12 s/s Flash (600 kW, 20 secondes)
 - Lissage des pointes (40 kVA connexion réseau)



Déploiement des véhicules

Aspects de développement durable

- Très grande capacité (toute la technologie est en toiture)
- Pas de coûts de conduite additionnels
 - temps aux terminus identiques aux bus diesel
 - pas de retour aux dépôts en journée (recharge)
- Longévité de la batterie (10 ans)
 - 500'000 km → ~10'000'000 personnes-kilomètres
 - **Ainsi avant recyclage, chaque kWh de la batterie (72 kWh) aura permis de transporter > 140'000 personnes-kilomètres**
- Durée de vie de 20 ans pour le véhicule (comme les trolleybus aux tpg)
- Haute efficacité énergétique
 - moteurs à aimants permanents et bus léger
 - convertisseur de traction réalisant la recharge des batteries
 - Montée en charge très rapide de 0 à 400 kW en moins de 2 secondes

Aspects de développement durable

- Recharge à haute puissance
 - 400 kW
 - 600 kW at flash (20 sec)
- Indépendance du système de communication
 - pas besoin de CCS2 ou d'autres protocoles de charge
- Infrastructure légère et sûre aux dépôts
 - Recharge à faible puissance (50 kW, 15 - 30 min)
 - Concept de sécurité incendie facilité par la faible taille en kWh de la batterie et la sûreté de la technologie LTO
- Connexions au réseau électrique distribuées et usage d'énergies renouvelables
 - Recharge en journée pendant l'exploitation. Ainsi, l'énergie solaire peut être utilisée directement.
 - tpg a un contrat d'énergie 100% renouvelable avec les SIG

Déploiement sur la L23

Retour d'expériences

- Adoption rapide et positive par les conducteurs
- C'est un système ! Importance des relations entre les équipes d'ingénierie et de maintenance en charge des infrastructures et des véhicules.
- Il est possible de faire de la grande capacité (18m75, 132 passagers) avec une très faible capacité de batterie (72 kWh) sur une ligne importante.
- Le système remontant les informations des véhicules et des infrastructures a permis d'optimiser le système.

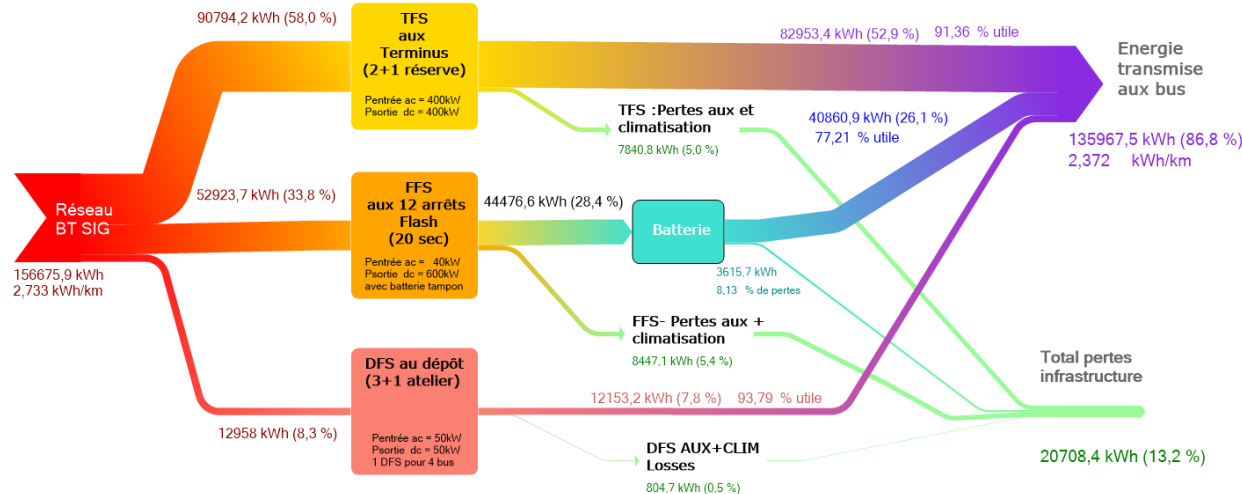
Mars 2018 → Novembre 2023

L23 – Une expérience unique

- 3,3 Mkm parcourus
- Disponibilité >98,7%
- ~65'000'000 passagers.km effectués
- Retour d'expérience avec véhicules et infrastructures communicants

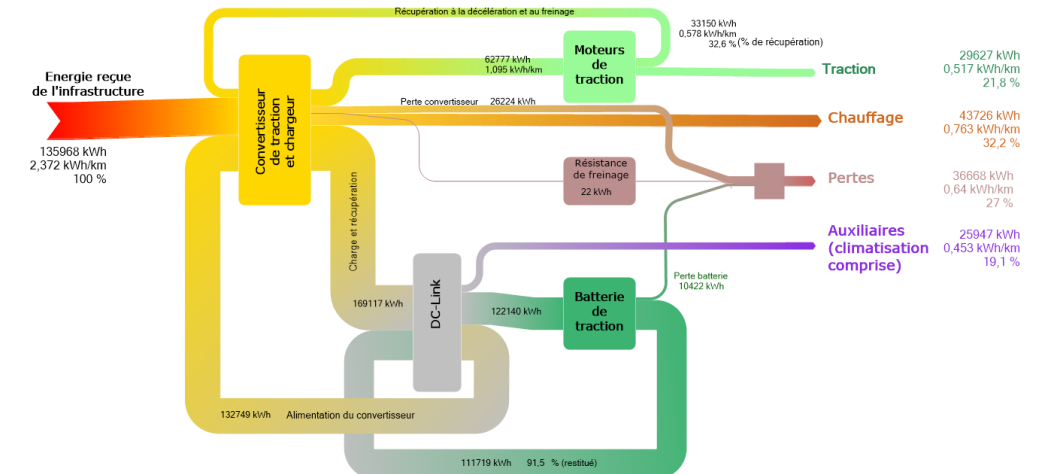
TOSA Ligne 23 Infrastructure - Flux d'énergie

km parcourus par la flotte de 12 bus dans le mois: 57327,84 km
Période du 1-1-2021 au 1-2-2021



TOSA Bus S505 sur L23- Flux d'énergie

km parcourus par la flotte de 12 bus dans la période: 57327,84 km
Période du 1-1-2021 au 1-2-2021



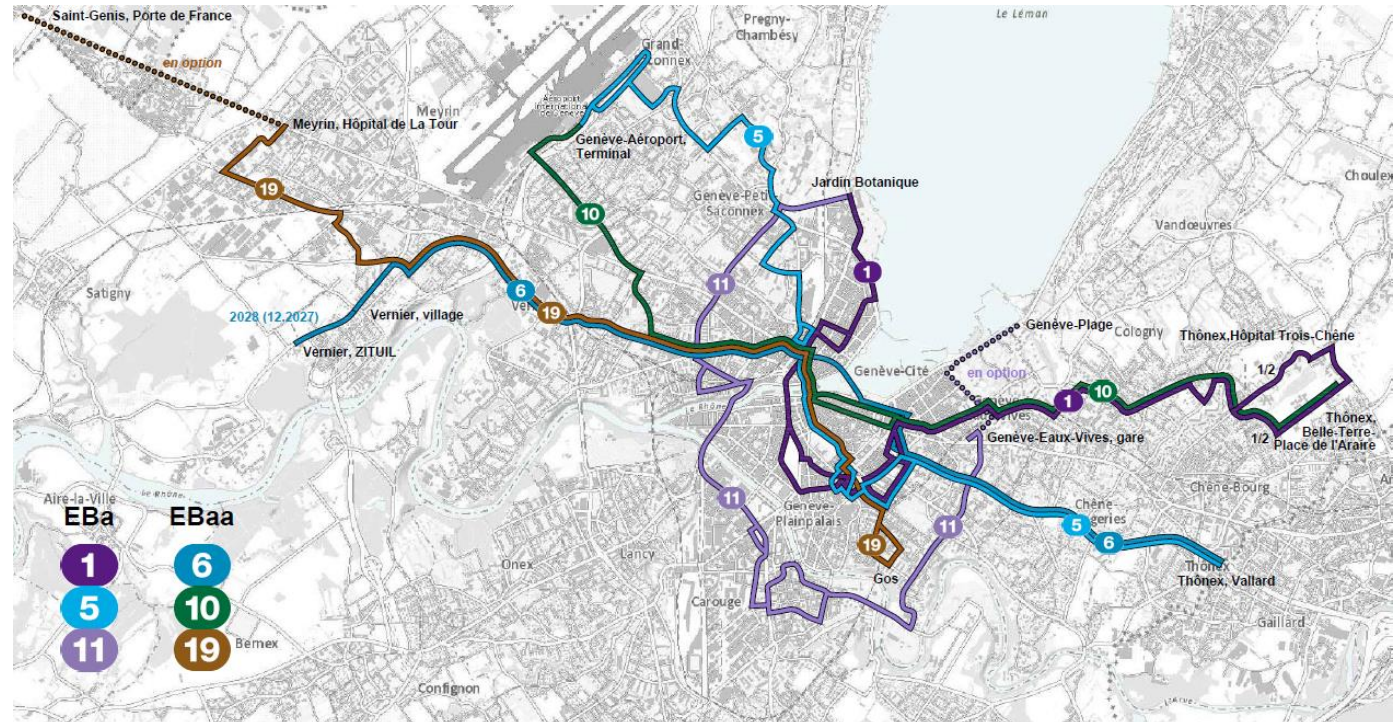
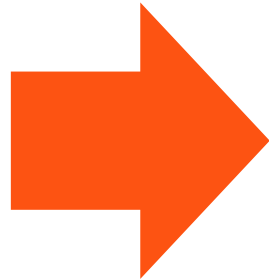
③ Transition énergétique: le réseau

2025-2027

1^{re} étape, projet de 6 lignes

Après la ligne 23, le réseau

- Une approche réseau sur 6 lignes
- 65 bus articulés et 56 bus double-articulés
- Un concept optimisé fondé sur notre expérience et les évolutions technologiques



Projet eBus 2020-2024

Objectifs et contraintes du cahier des charges

- Objectifs selon stratégie CAP 2030
 - Conversion des lignes diesel en lignes électriques
 - > 103 véhicules orientés clients et conduite
 - Évoluer vers des véhicules communicants
 - Avis de maintenance en temps réel, GMAO, monitoring
 - Dépasser 50% conformément aux exigences **ITxPT**
 - **15% de réduction** de consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation
 - Laisser ouvert le 2^e appel d'offres eBus à l'horizon 2025 – bus à recharge de nuit ?
- Contraintes de l'appel d'offres
 - Réaliser la transition énergétique sans augmenter les autres coûts (conduite, nombre de véhicules)
 - Acquérir des véhicules de grande et très grande capacité
 - Efficacité énergétique, énergie renouvelable, quantité et cycle de vie des matériaux (batteries)
 - Compatibilité avec nos infrastructures (dépôts, profils...)

Bénéfices environnementaux attendus

- Efficacité énergétique globale
 - Énergie de traction: bus léger avec faible quantité de batterie et moteur à haut rendement
- Amélioration de l'efficacité énergétique des systèmes auxiliaires (climatisation et chauffage) dans les véhicules
 - Pompe à chaleur à place du chauffage électrique
 - Capteurs CO₂ pour réguler la ventilation
- Fluides frigorigènes à moindre impact écologique
 - Utilisation du R-744a (PRG=1*) à la place du R-407C/Trolleybus (PRG=1774*) ou R134a/Autobus (PRG=1430*)
- Matériaux et recyclage
 - Batterie: faible quantité de batterie et longue vie ≥ 10 ans \rightarrow 20 ans !
 - Part élevée des matériaux recyclés à la construction et recyclabilité $> 90\%$

④ Benchmarks techniques

eBus, trolleybus

Évolution des batteries

– eBus TOSA L23 – Bus 18m

- Technologie LTO
- Capacité 72 kWh
- Masse: 1200 kg
- Recharge aux terminus: 400 kW
- Recharge flash: 600 kW
- Recharge au dépôt: 50 kW

2018-(2022)

– eBus 2022 – Bus 18m

- Technologie LTO
- Capacité ~ 132 kWh
- Recharge aux terminus: 600 kW

– eBus 2022 – Bus 24m

- Technologie LTO
- Capacité ~ 132 kWh
- Recharge aux terminus: 600 kW

– Trolleybus Exquicity S301 – TB 18m

- Technologie LFP
- Capacité 28 kWh
- Masse : 740 kg
- Pmax : 80 kW (remplacement GMA)

2013-2021

– Trolleybus Exquicity S302 – TB 18m

- Technologie LTO (sécurité et performance améliorées)
- Capacité 45 kWh (autonomie)
- Masse: 1500 kg (complet inclus refroidissement)
- Pmax : 210 kW → Performance identique en mode batterie ou LA

Bénéfices attendus pour les lignes et dépôts

- Recharge à haute puissance
 - aux terminus (~+50% vis-à-vis de L23)
 - 1 voire 2 flash max. par direction (20 sec)
- Infrastructure légère et sûre aux dépôts
 - Recharge rapide (2-5 min) à l'entrée du dépôt avant le remisage
 - Concept de sécurité incendie facilité par:
 - la faible taille en kWh de la batterie
 - la sûreté de la technologie LTO et
 - l'absence de charge aux places de remisage.
- Connexion au réseau électrique distribué et énergie renouvelable
 - Recharge en journée pendant l'exploitation. Ainsi, l'énergie solaire peut être utilisée directement
 - Contrat d'énergie 100% renouvelable avec les SIG

5

Projet eBus: configurations

Configurations des véhicules, des
infrastructures aux dépôts et sur le réseau

Véhicules

- 65 bus articulés
- 56 bus à double articulation
- Dimensions
 - Longueur 18,75 / 24,70 m
 - Largeur 2,55 m
- Compartiment passagers
 - Capacité min. (4p/m²), 110 / 140 (selon CP)
 - Plancher bas 100%
 - Places assises 40 / 50
 - Zone chaise roulante 1 / 2 places, évolutif selon cabine occupée
 - Sièges PMR 10%
 - Espace multifonction oui

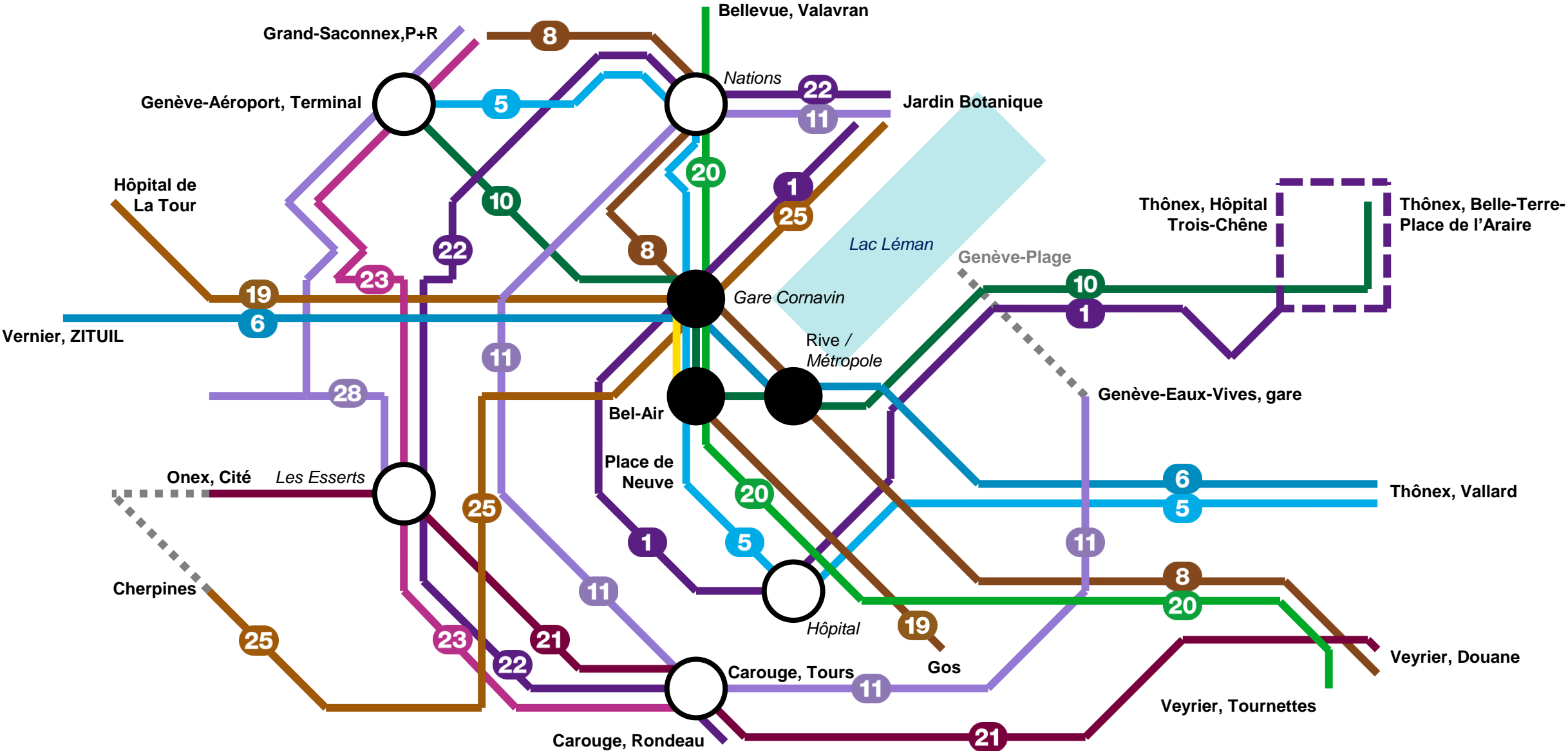
- Principe de base sur le réseau
 - Recharge à 600 kW aux terminus (MT) en moins de 5'
 - Recharge à 600 kW aux sous-stations intermédiaires/backup (BT)
- Principe de base aux dépôts
 - Recharge à 600 kW (idem terminus) à l'entrée au dépôt en max 5 min.
 - Remisage banalisé (idem bus diesel)
 - Équipement des places de maintenance avec chargeur à faible puissance

6

Le réseau de transports publics 100% électrique

CAP2030

CAP20230 : évolution du réseau urbain 2030



⑦ Perspectives énergétiques

Électrification de notre flotte de bus

Projection de la consommation 2030

Impact énergétique de l'électrification de nos lignes de bus

- En 2019, nous avons consommé ~ 6,3 mio. de litres de diesel, soit **63 GWh** pour 11 mio. de km.
- Une réduction de 6,3 mio. de litres de diesel représente une réduction des émissions de GES de **16 443 tonnes de CO₂/an**



- L'électrification des lignes diesel représente un total de **25 GWh/an** pour 11 mio. de km/an.
- Ainsi la consommation électrique totale projetée passe de 36 GWh à 61 GWh, soit +69%.
- Les 25 GWh supplémentaires représentent une augmentation de **0,9%** de la consommation électrique du Canton de Genève (2700 GWh).

Électrification du réseau de bus des TPG

Questions & Réponses

tpg: En route vers des transports publics urbains à 100 % électriques.

La moitié des 478 véhicules des tpg est électrique et entièrement alimentée par une énergie renouvelable.

tpg affiche l'ambition de disposer d'un parc de véhicules 100% électriques d'ici 2030.



Olivier Augé / TPG Responsable Ingénierie Auge.Olivier@tpg.ch