



σtpg

GED #717824

Elektrifizierung des Busnetzes der TPG

Olivier Augé
Leiter Engineering

10. Forum Nachhaltige Energie
Solothurn, 30.11.2023

VÖV UTP



Verband öffentlicher Verkehr
Union des transports publics
Unione dei trasporti pubblici

Zahlen Jahresbericht 2022

- 32'391'000 km Total
(~ 88'742 km/Tag)
- 507 Mio. Personenkilometer/Tag
(~1'389'000 Personenkilometer/Tag)
- 2'210 Mitarbeitende
 - Betrieb: 1'566
 - Technik: 342
 - Administration: 304
- 478 Fahrzeuge
(Trams, Trolleybus ohne Unterauftragsvergabe)
- 77 Linien



Flotte 2023

Tram, Trolleybus und Bus

126 Trams



104 Trolleybusse



12 eBusse



232 Dieselbusse
(189 Gelenkbusse)



4 Shuttlebusse

1

Energieübergangsstrategie: 1. Phase der Innovation

Die Herausforderungen der Energiewende:
Der Prototyp

Geschichte, Innovation

Privat-öffentliche Partnerschaft



- Passagiere statt Batterien transportieren
- Weltweit erster elektrischer Gelenkbus (132 Fahrgäste)
- Eine Batterie von nur 38 kWh
- Flash-Ladung in 20 Sekunden
- Einweihung während des UITP-Weltkongresses 2013 in Genf



② Energieübergangsstrategie: Buslinie 23

Das Projekt „Leuchtturm“.
Feedback von 2018 bis 2023

Einsatz auf einer ganzen Linie – L23

Energieumstellung von einer Diesel-Linie

- Nach dem Prototyp, ganze Linie
- Leuchtturmprojekt unterstützt durch den Bund
- 1'000 tCO₂/an
- 12 Gelekkbusse (18m75)
- 2 Endhaltestellen (400 kW, < 5 min)
- 12 Flash Unterwerk (600kW, 20 Sekunden)
 - Spitzenglättung (40kVA Niederspannungs-Stromnetzanschluss)



Aspekte der nachhaltigen Entwicklung

- Sehr grosse Kapazität für Fahrgäste (die gesamte Technik befindet sich auf dem Dach)
- Keine zusätzlichen Fahrkosten
 - gleiche Zeiten an den Endhaltestellen wie bei Dieselmussen
 - keine Rückkehr zu den Depots während des Tages (recharge)
- Lange Lebensdauer der Batterie (10 Jahre)
 - 500'000 km → ~10'000'000 Fahrgast.km
 - **Vor dem Recycling, jede kWh der Batterie (72 kWh) hat > 140'000 Fahrgast.km ermöglicht**
- 20 Jahre Lebensdauer für das Fahrzeug (wie die Trolleybusse bei den tpg)
- Hohe Energieeffizienz
 - Permanentmagnetmotoren und geringes Busgewicht
 - Stromrichter als eingebautes Batterieladegerät
 - Schneller Hochlauf von 0 auf 400 kW in weniger als 2 Sekunde

Aspekte der nachhaltigen Entwicklung

- Laden mit hoher Leistung
 - 400 kW
 - 600 kW bei Flash (20 Sek)
- Kommunikationslos (CCS2 oder ähnlich nicht erforderlich)
- Leichte und sichere Infrastruktur in den Depots
 - Langsamladung (50 kW, 15 - 30 min)
 - Brandschutzkonzept erleichtert durch die Batteriegrösse, die LTO Technologie und weil keine Ladung am Busstellplatz stattfindet.
- Verteilter Netzanschluss und direkte Nutzung erneuerbarer Energien
 - Nachladung erfolgt tagsüber während des Betriebs. Somit kann Sonnenenergie direkt genutzt werden.
 - tpg hat einen 100% erneuerbarer Stromvertrag mit SIG

Gesammelte Erfahrungen

- Schnelle und positive Akzeptanz vom eBus durch die Fahrer
- Es ist ein System! Zusammenarbeit zwischen den zuständigen Ingenieur- und Wartungsteams, die für die Infrastruktur und Fahrzeuge zuständig sind, ist wichtig.
- Ein grosser Bus (18m75, 132 Passagiere) mit einer kleinen Batterie (72 kWh) kann eine anspruchsvolle kommerzielle Linie bedienen.
- Kommunizierende Fahrzeuge und Infrastruktur helfen der Optimierung des Systems.

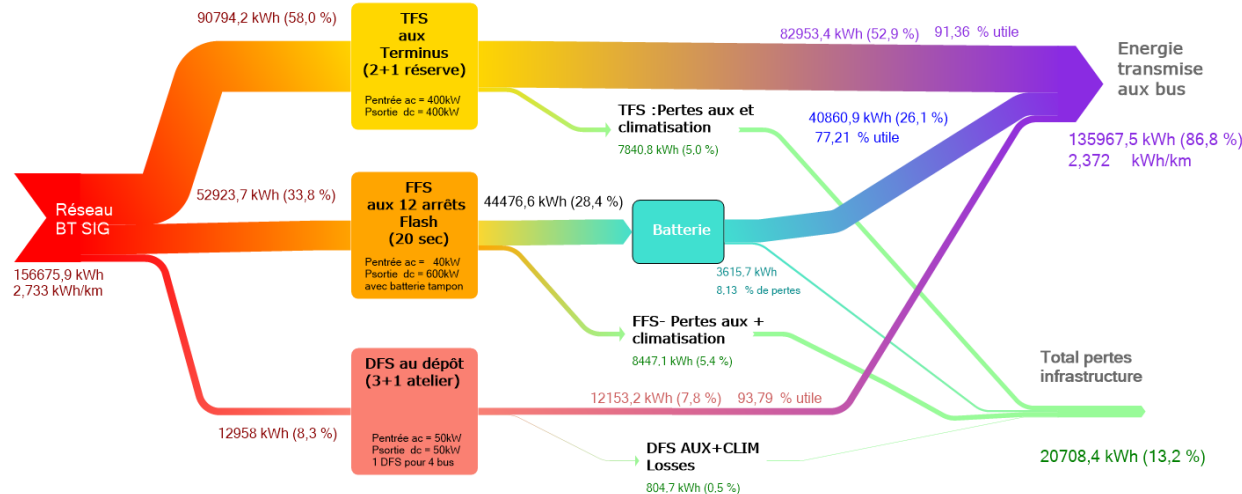
März 2018 → Nov 2023

L23 – Ein einzigartiges Erlebnis

- 3.3 Mkm zurückgelegt
- Verfügbarkeit > 98.7%
- ~65'000'000 Fahrgäste km geleistet
- Feedback mit kommunizierenden Fahrzeugen und Infrastrukturen

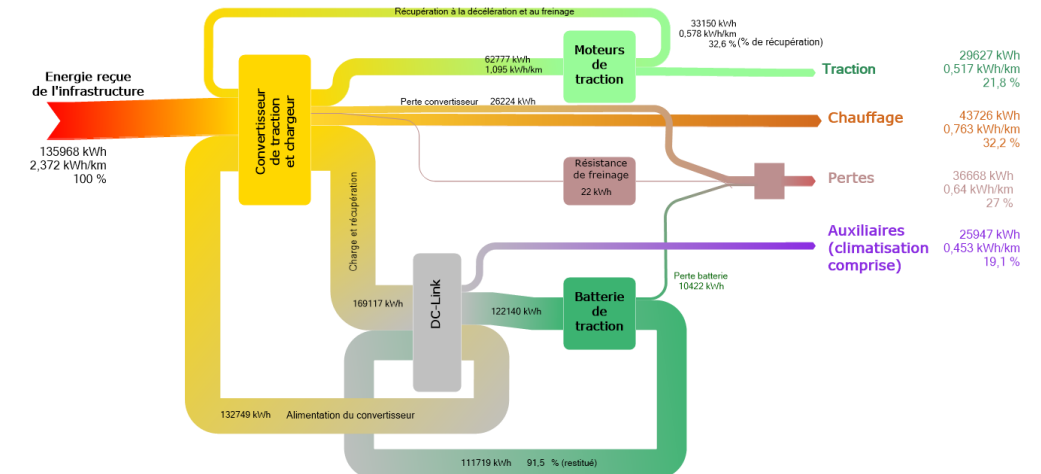
TOSA Ligne 23 Infrastructure - Flux d'énergie

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



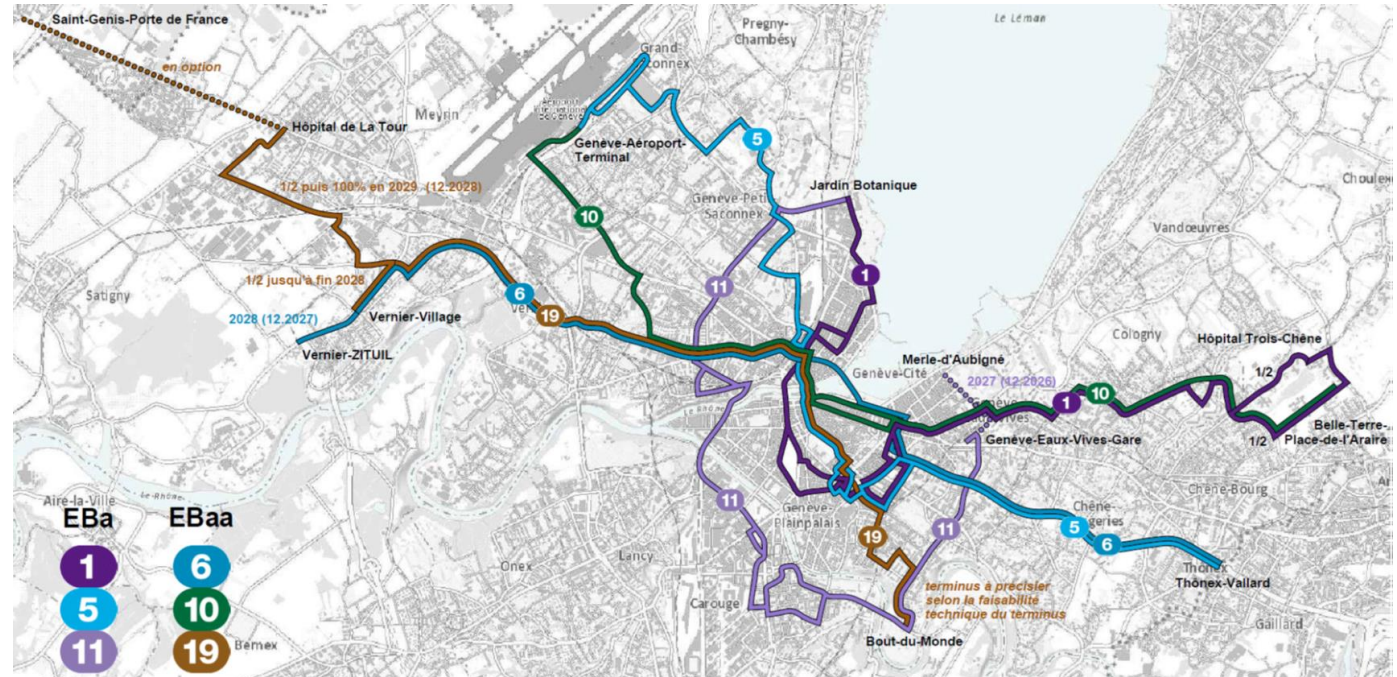
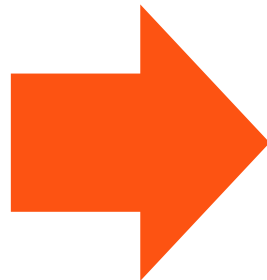
③ Energieübergangsstrategie: Das Streckennetz

2025-2027

CAP2030: 1. Etappe, Projekt 6 Linien

Nach der Linie 23 kommt das Streckennetz.

- Ein Streckennetzansatz mit 6 Linien
- 65 Gelenkbusse und 56 Doppelgelenkbusse
- Ein optimiertes Konzept, welches auf unserer Erfahrung und den technologischen Entwicklungen beruht.



Ziele und Einschränkungen der Spezifikationen

- Ziele gemäss der Strategie CAP 2030
 - Umstellung von Diesellinien auf Elektrolinien
 - > 103 Fahrzeuge, kunden- und fahrerorientiert
 - Entwicklung hin zu kommunizierenden Fahrzeugen
 - Wartungsbenachrichtigung in Echtzeit, CMMS, Überwachung
 - Über 50 % entspricht den **ITxPT**-Anforderungen
 - Reduzierung des Energieverbrauchs für Heizung und Klimaanlage um 15 %
 - 2. eBus-Ausschreibung bis 2025 offen lassen –Nachladebusse?
- Einschränkungen der Ausschreibung
 - Energiewende erreichen, ohne andere Kosten (Fahrkosten, Anzahl der Fahrzeuge) zu erhöhen
 - Anschaffung von Fahrzeugen mit grosser und sehr grosser Kapazität
 - Energieeffizienz, erneuerbare Energien, Menge und Lebenszyklus von Materialien (Batterien)
 - Kompatibilität mit bestehenden Infrastrukturen (Depots, Profile...)

Erwartete Vorteile für die Umwelt

- Gesamtenergieeffizienz
 - Bus-Traktionsenergie: Leichter Bus mit geringer Batteriekapazität und hocheffizientem Motor
- Verbesserung der Energieeffizienz von Hilfssystemen (Klimaanlage und Heizung) in den Fahrzeugen
 - Wärmepumpe statt Elektroheizung
 - CO₂-Sensoren zur Regulierung der Belüftung
- Kältemittel mit geringerer Umweltbelastung
 - Verwendung von R-744a (PRG=1*) anstelle von R-407C/Trolleybus (PRG=1774*) oder R134a/Autobus (PRG=1430*)
- Materialien und Recycling
 - Fahrzeugbatterie: Geringe Batteriemenge und lange Lebensdauer ≥ 10 Jahre \rightarrow 20 Jahre !
 - Hoher Anteil recycelter Materialien in der Konstruktion und Recyclingfähigkeit > 90 %

4

Technischer Benchmark

Entwicklung der Batterien

– eBus TOSA L23 – Bus 18m

- LTO-Technologie
- Kapazität 72 kWh
- Masse: 1'200 kg
- Endhaltestelle-Ladung: 400 kW
- Flash-Ladung: 600 kW
- Depot-Ladung: 50 kW

2018-(2022)

– Ebus 2022 – Bus 18m

- LTO-Technologie
- Kapazität ~ 132 kWh
- Endhaltestelle-Ladung: 600 kW

– Ebus 2022 – Bus 24m

- LTO-Technologie
- Kapazität ~ 132 kWh
- Endhaltestelle-Ladung: 600 kW

– Trolleybus Exquicity S301 – TB 18m

- LFP-Technologie
- Kapazität 28 kWh
- Masse: 740 kg
- Pmax: 80 kW (Ersatz GMA)

2013-2021

– Trolleybus Exquicity S302 – TB 18m

- LTO-Technologie (bessere Sicherheit und Leistung)
- Kapazität 45 kWh (Autonomie)
- Masse: 1'500 kg (gesamt inkl. Kühlung)
- Pmax : 210 kW → gleiche Leistung mit Batterie oder LA

Erwartete Gewinne für Linien und Depots

- Aufladen mit hoher Leistung
 - Endhaltestelle (~+50% in Vergleich zu L23)
 - 1 oder 2 Flash pro Richtung (20 Sek.)
- Leichte und sichere Infrastruktur in Depots
 - Schnelles Aufladen (2–5 Minuten) am Eingang des Depots vor der Lagerung
 - Brandschutzkonzept unterstützt durch:
 - die geringe Grösse der Batterie in kWh,
 - die Sicherheit der LTO-Technologie und
 - das Fehlen von Ladung in den Lagerplätzen.
- Anschluss an dezentrales Stromnetz und erneuerbare Energien
 - Laden tagsüber während des Betriebs. Somit kann Sonnenenergie direkt genutzt werden
 - 100 % erneuerbarer Energievertrag mit SIG

5 eBus-Projekt: Konfigurationen

Fahrzeugkonfigurationen, Infrastruktur in
Depots und im Netzwerk

Fahrzeuge

- 65 Gelenkbusse
- 56 Doppelgelenkbusse
- Abmessungen
 - Länge 18.75 / 24.7 m
 - Breite 2.55 m
- Fahrgastraum
 - Kapazität (4p/m²), 110 / 140 (nach LV)
 - Niederflur 100%
 - Sitzplätze 40 / 50
 - Rollstuhlbereich 1 / 2 Plätze, ändert wenn besetzte Kabine
 - PRM Sitze 10%
 - Multifunktionsraum Ja

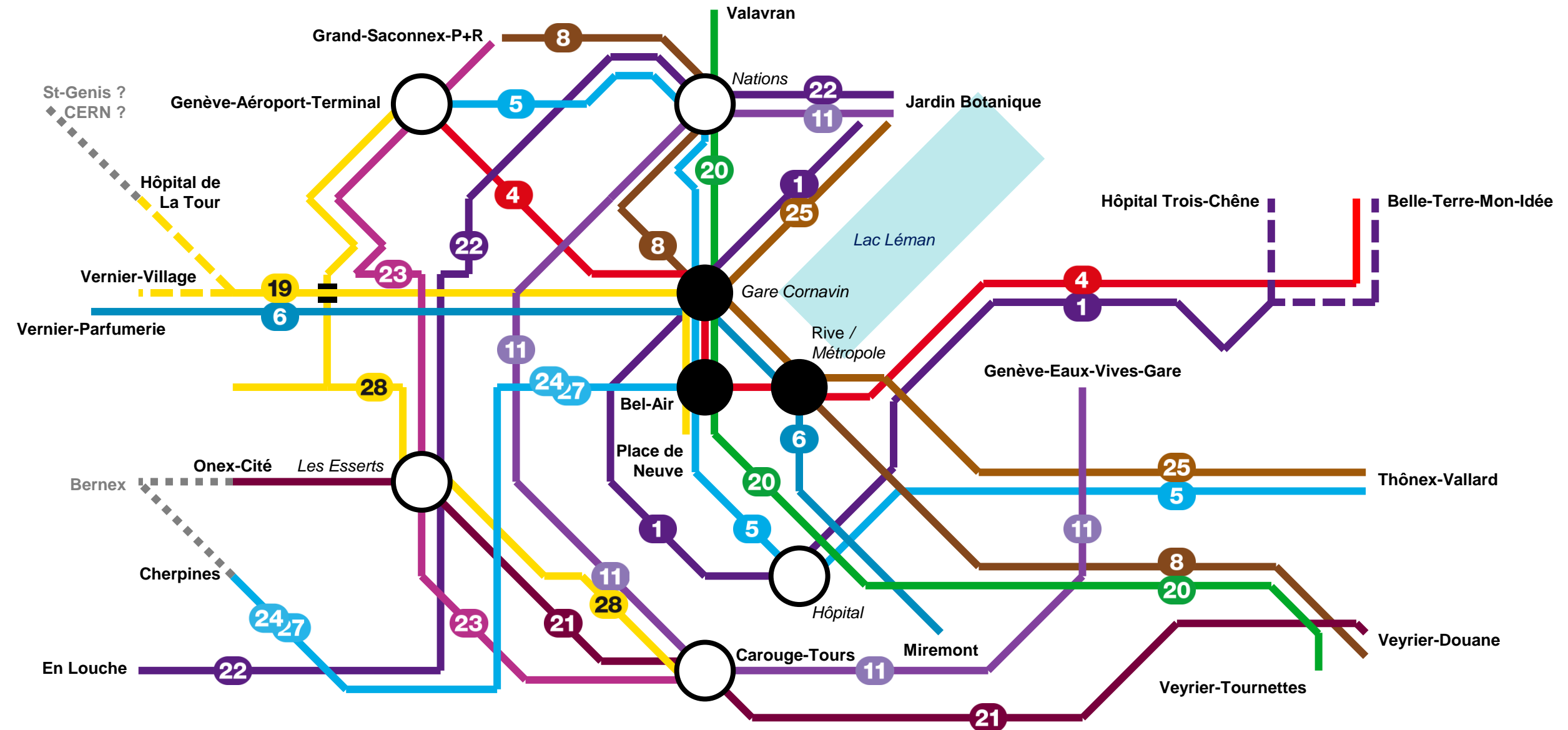
- Grundprinzip im Netzwerk
 - Laden mit 600 kW an den Terminals (MV) in $< 5'$
 - Laden mit 600 kW an Zwischenstationen/Backup (LV)
- Grundprinzip im Depot
 - Laden mit 600 kW (wie Endhaltestelle) bei Einfahrt ins Depot in max. 5 Min.
 - Keine Ausrüstung am Parkplatz (wie Dieselbus)
 - Ausstattung der Wartungsbereiche mit Kleinladegerät

6

Das 100 % elektrische öffentliche Verkehrsnetz

CAP2030

CAP20230: Entwicklung des Stadtnetzes



⑦ Energieausblick

Elektrifizierung unserer Busflotte

Energieauswirkungen der Elektrifizierung unserer Buslinien

- Im Jahr 2019 haben wir ca. 6,3 Mio. l Diesel oder **63 GWh** für 11 Mio. km verbraucht.
- Eine Reduktion um 6,3 Mio. l Diesel entspricht einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um **16'443 tCO₂/Jahr**



- Die Elektrifizierung von Dieselstrecken entspricht insgesamt **25 GWh/Jahr** für 11 Mio. km/Jahr.
- Somit steigt der gesamte prognostizierte Stromverbrauch von 36 GWh auf 61 GWh, also +69%.
- Die zusätzlichen 25 GWh stellen eine Steigerung des Stromverbrauchs des Kantons Genf um **0,9 %** (2'700 GWh) dar.

Elektrifizierung des Busnetzes der TPG

Fragen & Antworten

tpg: Auf dem Weg zum 100 % elektrischen öffentlichen Nahverkehr.

Heute ist die Hälfte der 478 TPG-Fahrzeuge elektrisch und wird vollständig mit erneuerbarer Energie betrieben.

tpg hat das Ziel, bis 2030 eine rein elektrische Fahrzeugflotte zu haben.



Olivier Augé / TPG Leiter Engineering Auge.Olivier@tpg.ch