



Elektrifizierung des Busnetzes der TPG

Olivier Augé
Leiter Engineering

10. Forum Nachhaltige Energie
Solothurn, 30.11.2023

σ tpg

GED #717824

VÖV UTP

Verband öffentlicher Verkehr
Union des transports publics
Unione dei trasporti pubblici



transport publics genevois

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 Gelekbusse (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 Dieselnissen
 - 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 Sonnenergie direkt genutzt werden.
 - tpg hat einen 100% erneuerbarer Stromvertrag mit SIG

Gesammelte Erfahrungen

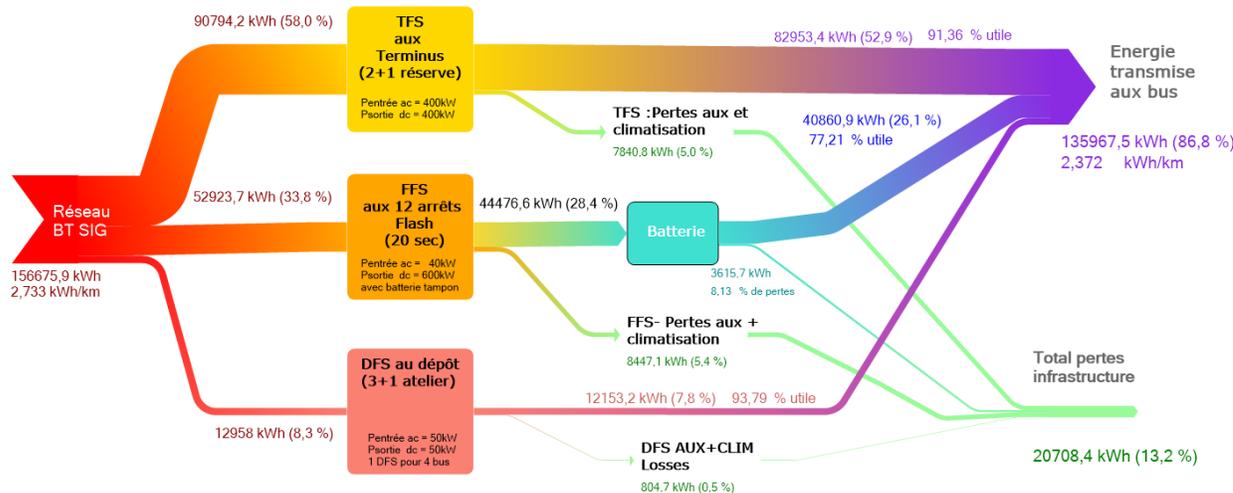
- Schnelle und positive Akzeptanz vom eBus durch die Fahrer
- Es ist ein System! Zusammenarbeit zwischen den zuständigen Ingenieur- und Wartungsteams, die für die Infrastruktur und Fahrzeuge zuständig sind, ist wichtig.
- Ein grosser Bus (18m75, 132 Passagiere) mit einer kleinen Batterie (72 kWh) kann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

März 2018 → Nov 2023

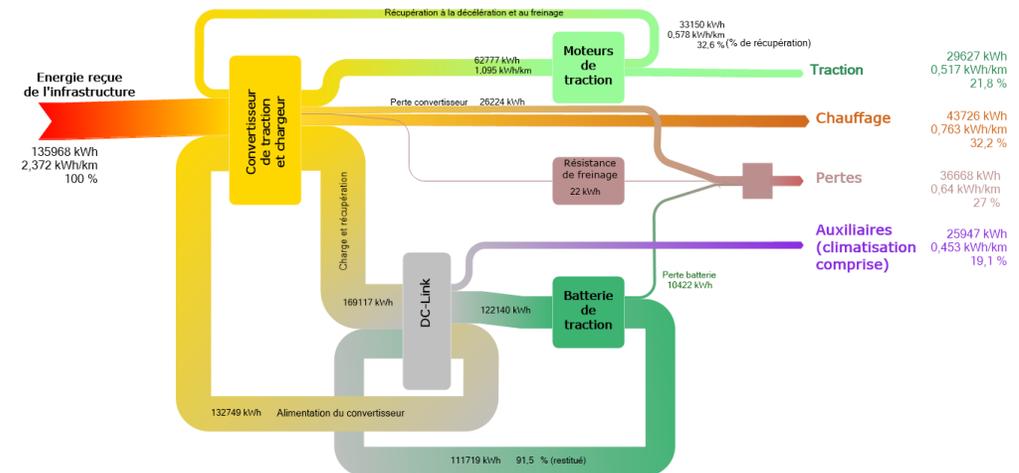
L23 – Ein einzigartiges Erlebnis

- 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

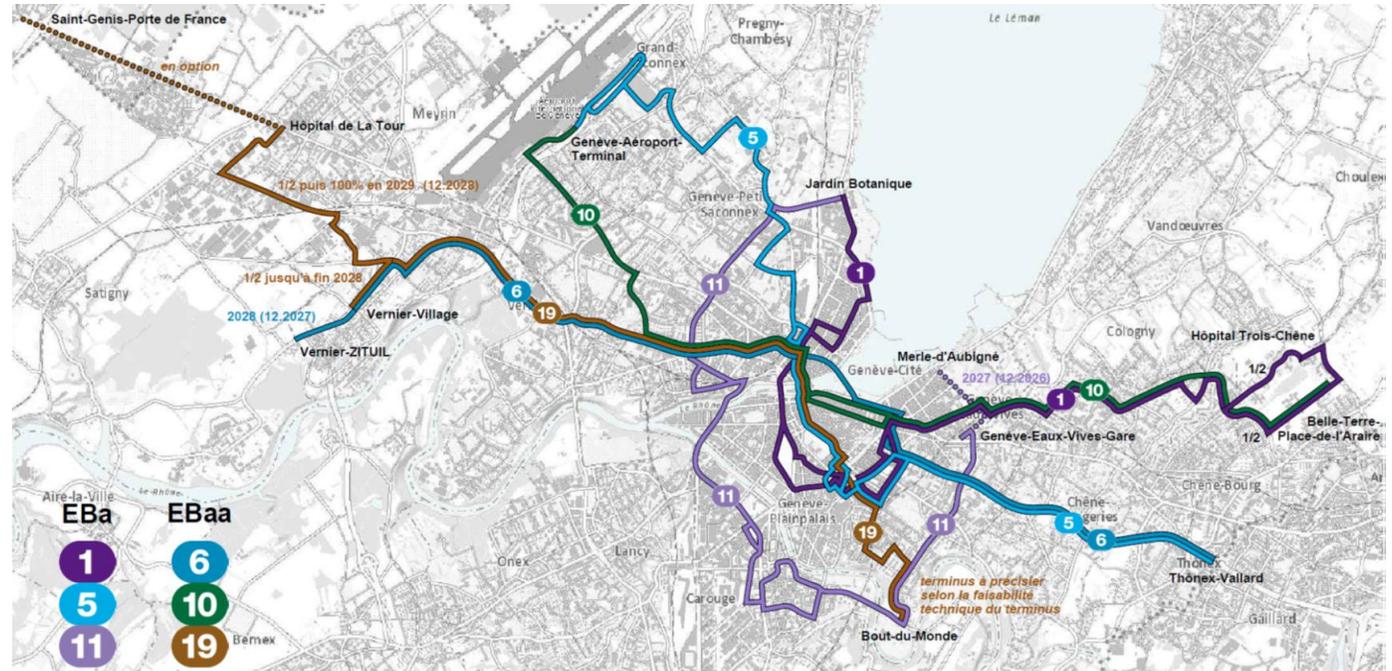
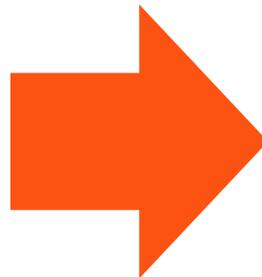
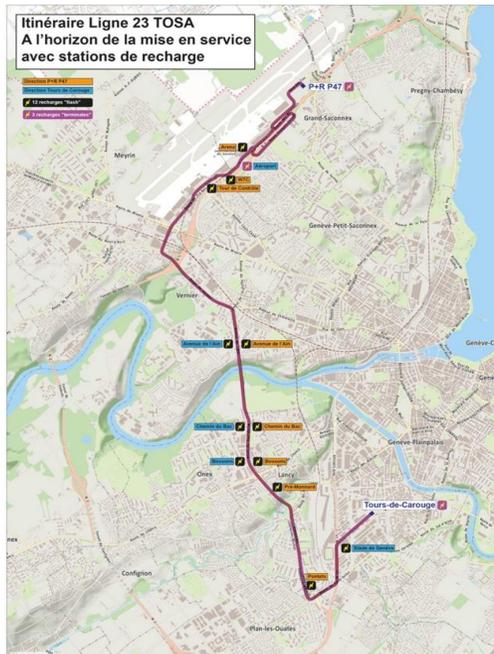
Energieübergangsstrategie: Das Streckennetz

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 –Nachtladebusse?
- 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 → 20 Jahre !
 - Hoher Anteil recycelter Materialien in der Konstruktion und Recyclingfähigkeit > 90 %

4

Technischer Benchmark

eBus, Trolleybus

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

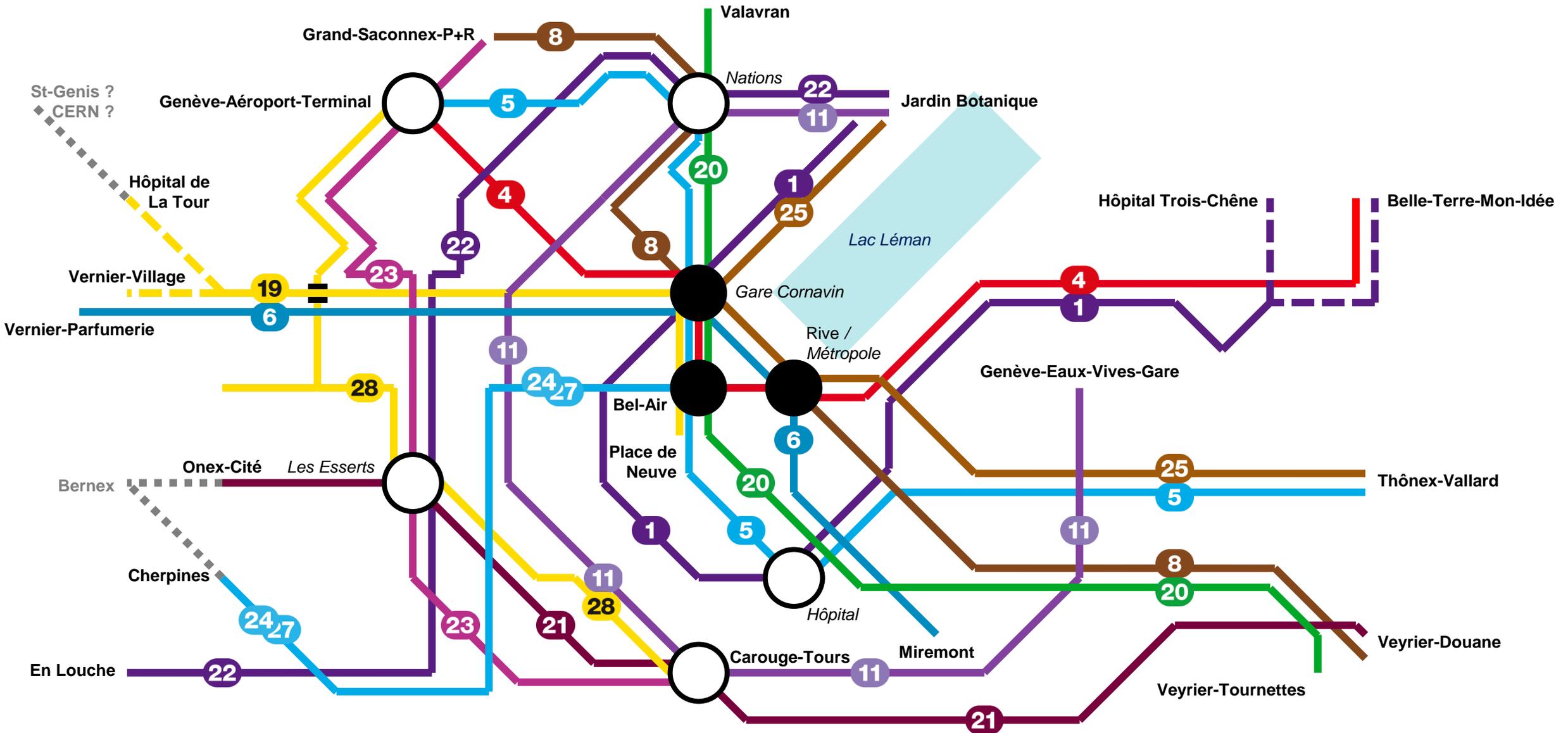
- Grundprinzip im Netzwerk
 - Laden mit 600 kW an den Terminals (MV) in < 5'
 - Laden mit 600 kW an Zwischenstationen/Backup (LV)
- Grundprinzip im Depot
 - Laden mit 600 kW (wie Endhaltestelle) bei Einfahrt ins Depot in max. 5 Min.
 - Keine Ausrüstung am Parkplatz (wie Dieselbus)
 - Ausstattung der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