

# 10<sup>e</sup> Forum Énergie durable

Jeudi 30 novembre 2023, 9h15–17h00  
Ancien Hôpital de Soleure

# 10<sup>e</sup> Forum Énergie durable

Jeudi 30 novembre 2023, 9h15–17h00

Ancien Hôpital de Soleure

# Net oui à la loi climat

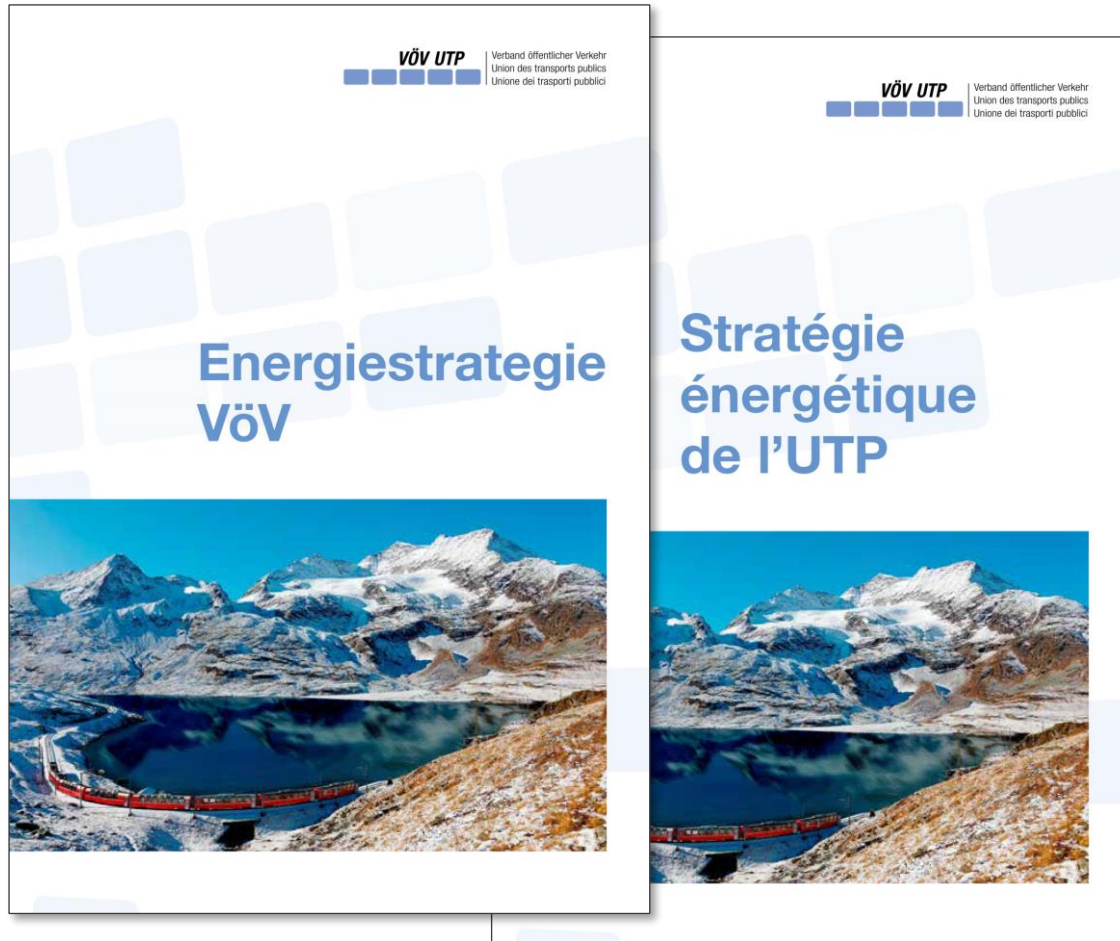


**OUI**

**Loi climat 18 juin**



# La branche des transports publics fournit sa contribution au tournant énergétique



## La nouvelle stratégie énergétique de l'UTP

Ambition: TP neutres en CO<sub>2</sub> dès 2040



# Ambitions qui nous mettent à contribution

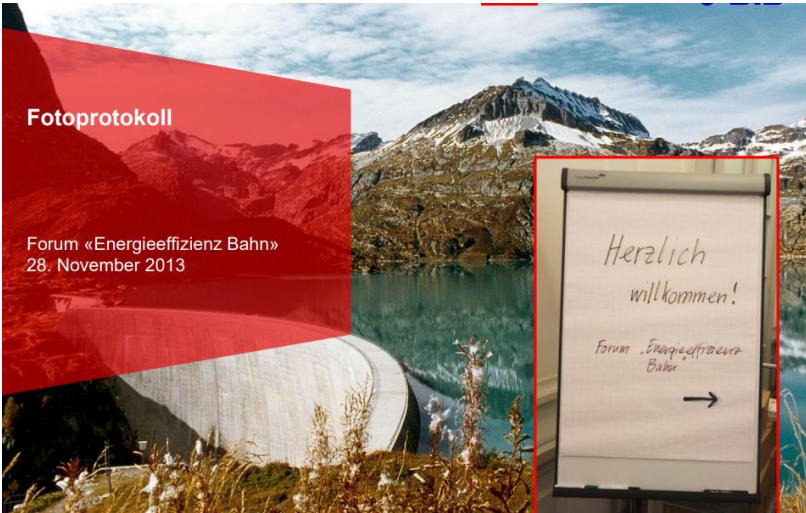
- 1 Augmentation de l'**efficacité énergétique de 30 %**
- 2 Couverture des **besoins énergétiques par des énergies renouvelables** à partir de 2040
- 3 Forte croissance de la production d'énergie interne à la branche des TP
- 4 Exploitation d'**entraînements uniquement propres** après 2040
- 5 Amélioration de la répartition modale en faveur des TP (trafic voyageurs et marchandises)

# Colloque La mobilité et les TP de demain: un engagement perceptible





# 10 ans – de la branche pour la branche



Energieforum, 30.01.2018 / 7

VÖV UTP

## 5. Energieforum

- » Heute 5. Energieforum, Lausanne, VÖV
- » Über 100 Teilnehmerinnen und Teilnehmer
- » Mehr Praxis
- » Hauptfokus: TUs aus der Romandie
- » Vertretung des städtischen Verkehrs

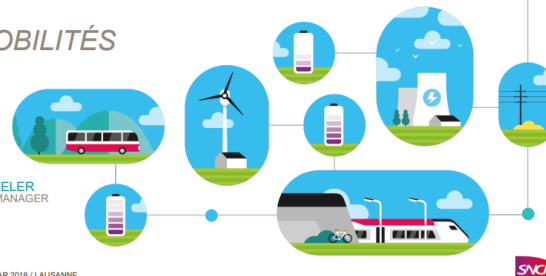


## ENERGIEEFFIZIENZ VON ZÜGEN

SNCF MOBILITÉS

CHLOÉ LIMA-VANZELER  
ENERGY PROGRAM MANAGER

SNCF MOBILITÉS  
ENERGIEFORUM VÖV / 30. JANUAR 2018 / LAUSANNE



## 6. Energieforum

Strategien und Aktivitäten  
Fachspezifische Workshops  
Best Practice

Dienstag, 29.01.2019, 08.45 bis 16.15 Uhr  
Vormittag: Luzern, Hotel Astoria  
Nachmittag: Werkstatt Stansstad (ZB), Serviceanlage Luzern (SBB),  
Geothermische Wärmehelzung Eschenbach (SBB) &  
Werkstatt Arth-Goldau (SBB)



VÖV UTP

# Programme de la matinée

- 9h15** Début de la manifestation et mot de bienvenue  
**Matthias Rücker, CFF, et Bernhard Adamek, UTP**
- 9h30** La transformation durable de Freiburger Verkehrs AG  
**Mareike Rehl, Freiburger Verkehrs AG**
- 10h00** Monitoring «Stratégie énergétique 2050 des transports publics»  
**Stephan Husen, OFT**
- 10h20** Bonnes pratiques: plein cap vers les économies d'énergie:  
réduction de la consommation énergétique des automotrices Flirt  
**Matthias Müri, SOB**

# Programme de la matinée

11h15

**Bonnes pratiques: électrification du réseau de bus des TPG**

**Olivier Augé, TPG**

**Bonnes pratiques: Venti35, un projet de transition écologique dans la navigation**

**Annarita Polacchini, Società Navigazione del Lago di Lugano**

**Bonnes pratiques: le R290, une solution naturelle pour remplacer les frigorigènes synthétiques dans les appareils de climatisation ferroviaires**

**Ralf Hofer, CFF**

12h30

**Récapitulation de la matinée et informations concernant l'après-midi**

# Programme de l'après-midi

**14h00**

## **Ateliers**

- 1 Le photovoltaïque dans les TP – ambitions et réalité
- 2 Chantiers sans émissions
- 3 Confort thermique dans les transports publics
- 4 Batteries lithium-ion – conditions-cadres et sécurité

**15h35**

## **Récapitulation des ateliers**

**Responsables des ateliers**

**15h55**

## **Bilan de la manifestation et perspectives**

**Matthias Rücker, CFF**

**16h00**

## **Apéritif**





**Mareike Rehl**

**Responsable Gestion de la durabilité,  
Freiburger Verkehrs AG**

# Transformation durable de VAG









# Nos objectifs

- 1 Mise en œuvre de la feuille de route 2035
- 2 2030: 30% d'équivalents- $\text{CO}_2$  en moins
- 3 2035: décarbonation et neutralité climatique



# Pourquoi est-ce important?



## Conflit d'objectif

- Les TP contribuent à protéger le climat
- Les TP consomment beaucoup d'énergie



## Levier

- Réduire les émissions de CO<sub>2</sub> dans les transports

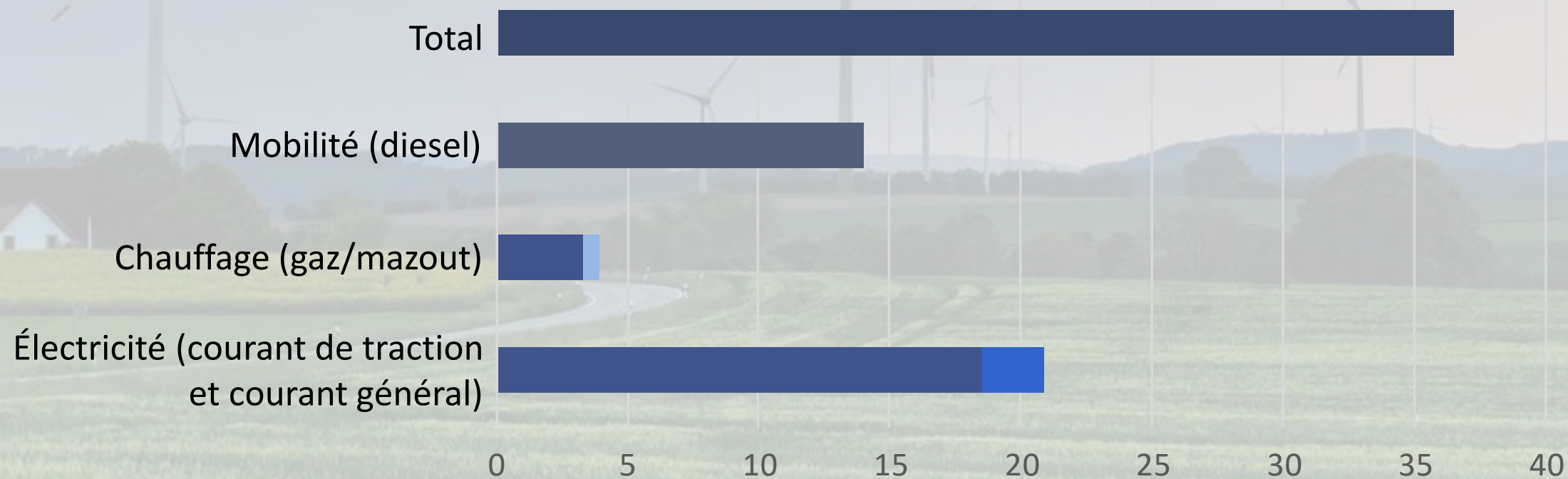


## Réponse

- Changement climatique
- Hausses des prix
- Chaînes de livraison
- Régulation



# Besoin d'agir sur la consommation d'énergie





# Notre réponse

Décarbonation

Transformation  
durable

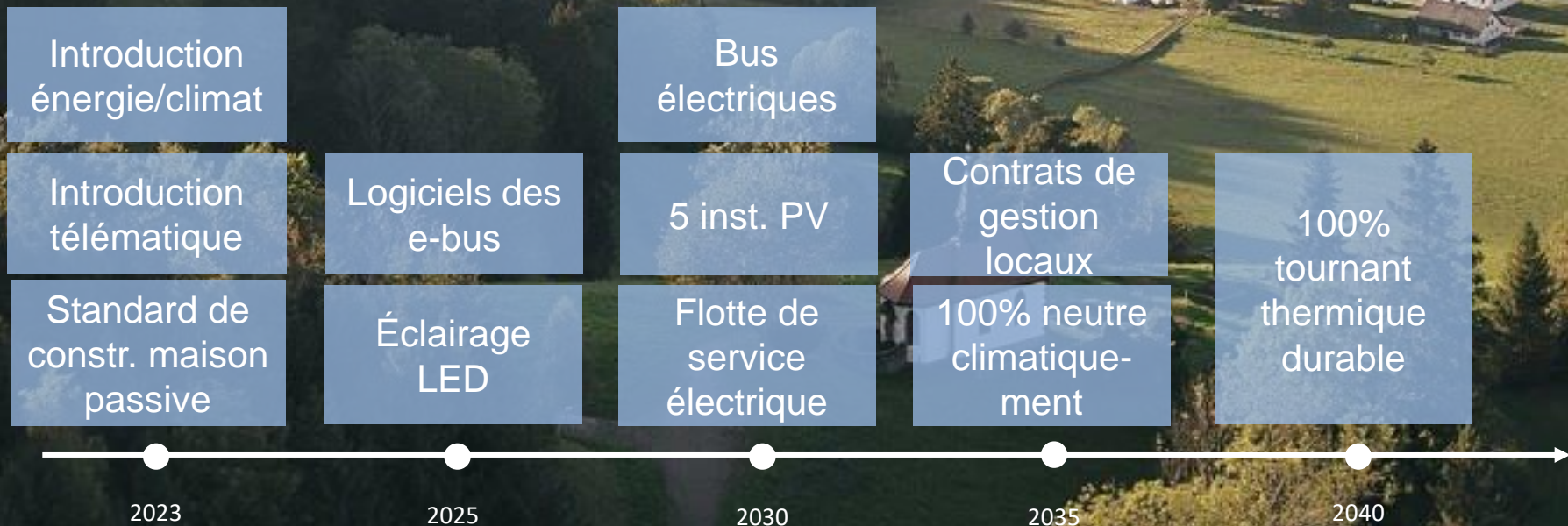
Gestion  
d'entreprise

Tournant  
énergétique

Employeur



# Feuille de route 2035: décarbonation





# Efficacité énergétique



## Vision et objectifs

- D'ici 2030: réduction de la consommation énergétique de 10 %



## Marche à suivre

1. De la gestion énergétique à la **gestion climatique**
2. **Mesures pour augmenter l'efficacité énergétique** des véhicules existants
3. Développement de logiciels pour une **affectation des bus électriques** efficace énergétiquement
4. **Télématique** dans la conduite des véhicules

# Offensive photovoltaïque (PV)



## Vision et objectifs

- Depuis 2006: **courant vert**
- D'ici 2030: 5 GW grâce au **installations PV**
- D'ici 2035: **contrats locaux de gestion**



## Marche à suivre

1. Financement, planification, construction de **5 installations PV** au dépôt de VAG
2. Négociations avec le distributeur local d'énergie aboutissant à des **contrats de gestion**



# Électrification



## Vision et objectifs

- D'ici 2030: passage de la flotte à des bus électriques
- D'ici 2030: transformation des véhicules utilitaires et de service



## Marche à suivre

1. Depuis 2019: **ligne pilote**
2. Depuis 2022: **17 bus électriques**
3. À partir de 2024: **34 bus électriques supplémentaires**
4. Prise en compte de l'**efficacité énergétique** dans les **critères d'achat**



# Parlons d'argent



## 1 Subventions

- Fonds urbain d'avenir
- Subventions de l'État ou du Land
- Actuellement 13 demandes

## 2 Fonds climatique de VAG

- Env. 200 000 euros
- Budget interne pour réaliser des mesures d'efficacité



## 3 VDV

- Sous-comité Durabilité
- Guides de la branche

## 4 VDV

- Conférence sur la gestion du climat et de la durabilité en juin 2024 à Offenbach



# Agir avant tout...



Développer une **vision**: créer des capacités et des priorités



Identifier les possibilités de financement et les **potentiels d'économie**



**Mesurer** et communiquer la décarbonation



**Merci beaucoup!**





**Stephan Husen**

**Responsable par intérim du  
programme SETP, OFT**



**Quelle énergie consomme  
un train ?**

**Qui consomme le plus  
d'énergie : les remontées  
mécaniques ou la  
navigation ?**

**Quelles sont les émissions  
CO<sub>2</sub> des autobus ?**

**Quel est le moyen de  
transport le plus efficace  
sur le plan énergétique ?**

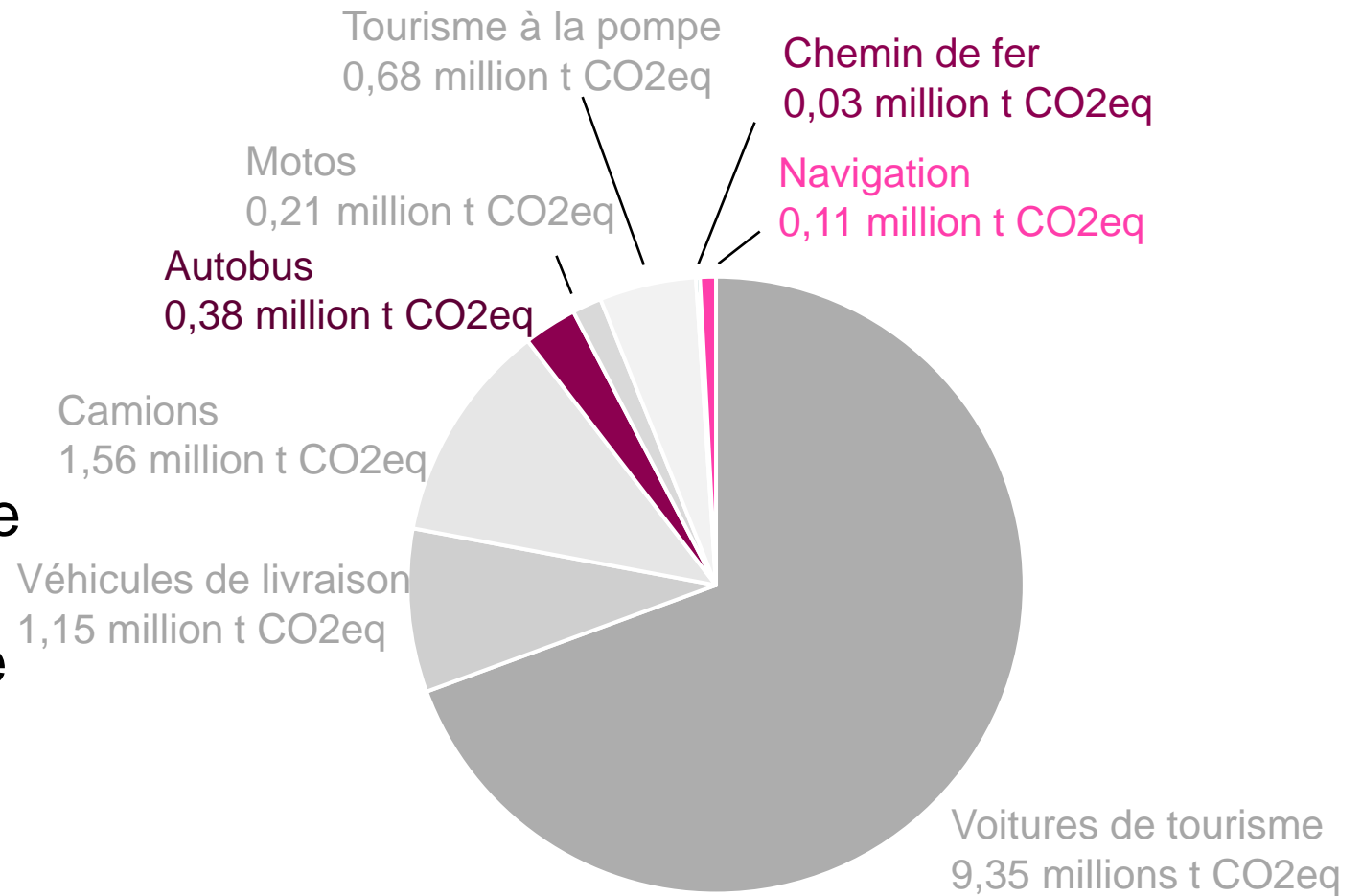
Stephan Husen, Roman Slovak, Markus Ammann





# Inventaire des gaz à effet de serre de l'OFEV - Secteur des transports

Les transports publics ne sont pas pris en compte de manière suffisamment détaillée dans les statistiques actuelles de la Confédération (statistique de l'énergie de l'OFEN, inventaire des gaz à effet de serre de l'OFEV).

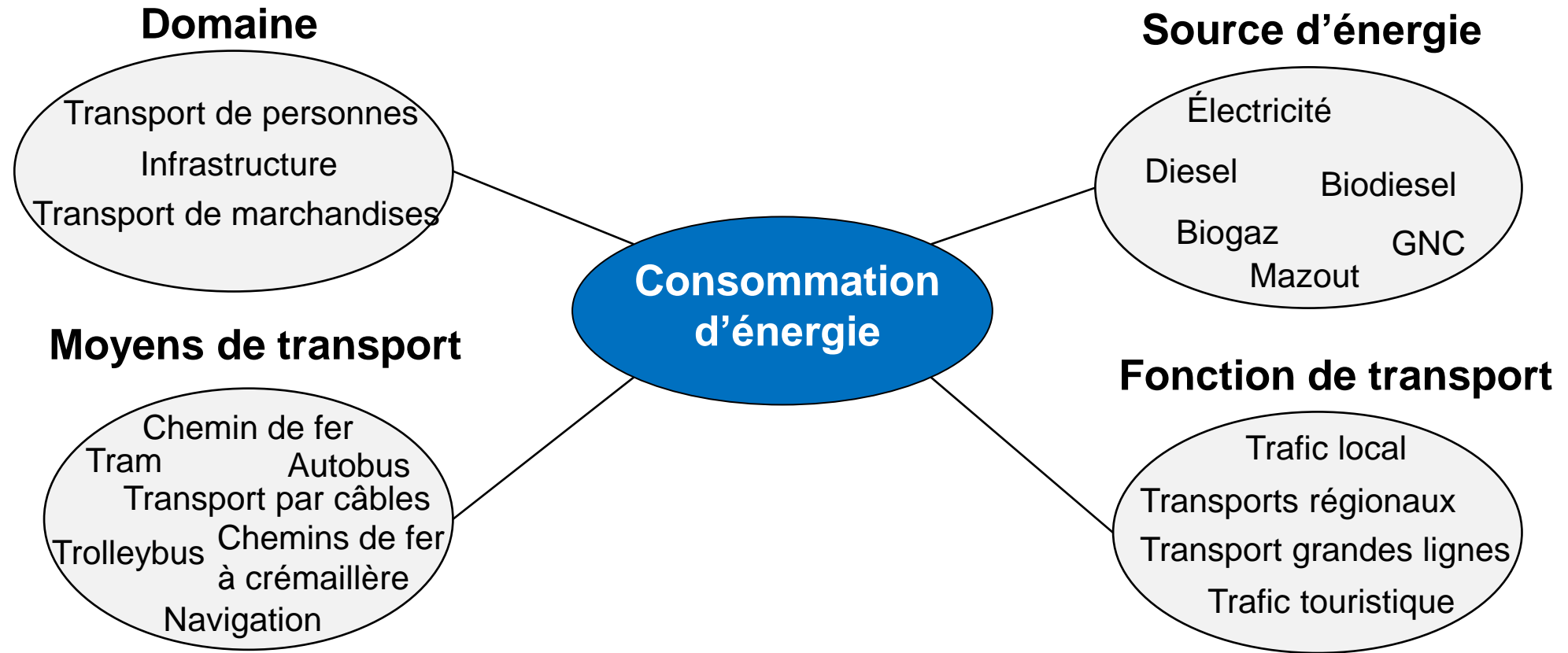


Inventaire des gaz à effet de serre 2020 de l'OFEV



# Collecte de données Monitoring Energie dans les TP

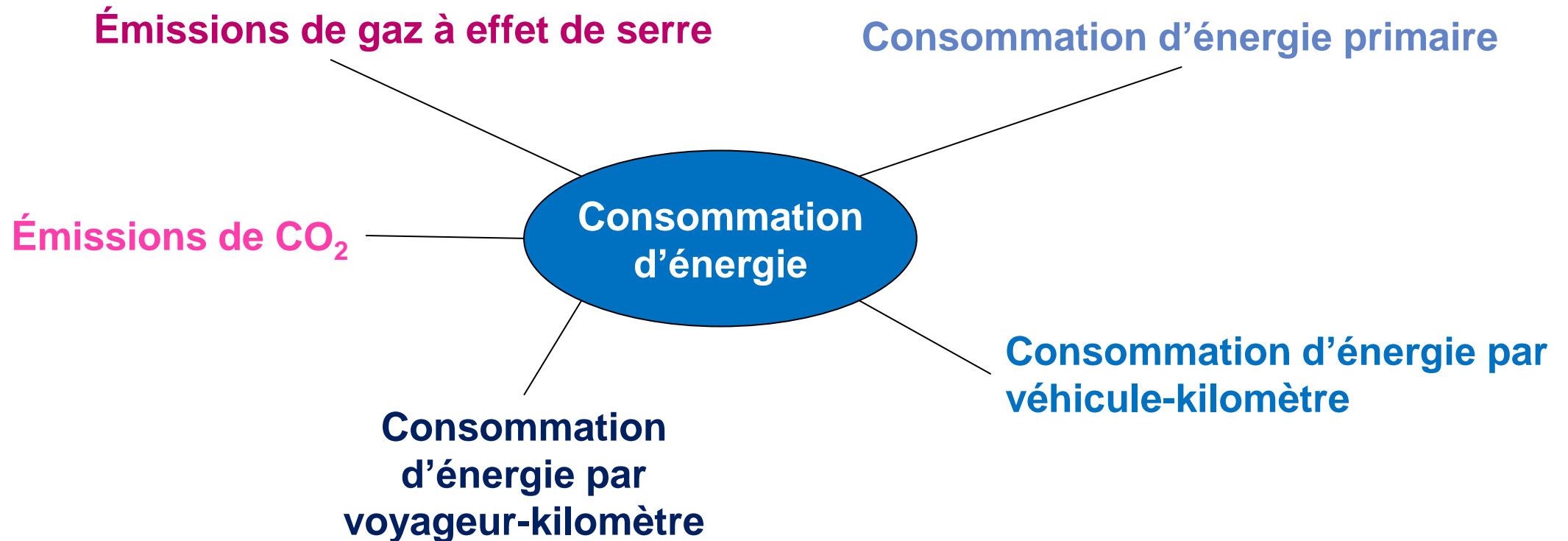
Depuis 2020, l'OFT recueille des données sur la **consommation d'énergie** dans les transports publics.





# Préparation du monitoring de l'énergie dans les transports publics

L'OFT calcule différents **indicateurs** à partir de ces **données**.





# Publication des indicateurs énergétiques

Publication des principaux chiffres clés sur les pages web de l'OFT

## Chiffres-clés de l'énergie des TP

The screenshot shows the official website of the Office fédéral des transports (OFT). The header includes the Swiss Confederation logo and the OFT name in multiple languages. A navigation bar contains links for 'Moyens de transport', 'Thèmes généraux', 'A à Z', 'Publications', 'Droit', and 'L'OFT'. The main content area is titled 'Chiffres-clés de l'énergie des TP' and features a large photograph of an electrified railway track. Below the image, there is a paragraph in French explaining that the OFT publishes annual data on energy consumption and greenhouse gas emissions for public transport, and that this data is used to assess the sector's carbon footprint.

Le Conseil fédéral > DETEC > OFT

Page d'accueil Plan du site Contact DE FR IT EN

Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral des transports  
OFT

Chercher

Glossaire

Moyens de transport

Thèmes généraux

A à Z

Publications

Droit

L'OFT

Page d'accueil > Thèmes généraux > Énergie > Chiffres-clés de l'énergie des TP

Énergie

Chiffres-clés de l'énergie des TP

Chiffres-clés de l'énergie des TP 2020

Chiffres-clés de l'énergie des TP

Une grande partie des transports publics est électrifiée.

© OFT

L'Office fédéral des transports recense chaque année des chiffres détaillés sur la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre des transports publics. Ces chiffres complètent les données collectées à un niveau supérieur dans le cadre de la statistique des transports publics, de la statistique globale suisse de l'énergie et de l'inventaire des gaz à effet de serre de la Suisse.

L'OFT procède à ce recensement dans le but d'apporter de la transparence sur la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre dans le secteur des TP. Dans un deuxième temps, il s'agit de pondérer les chiffres avec la

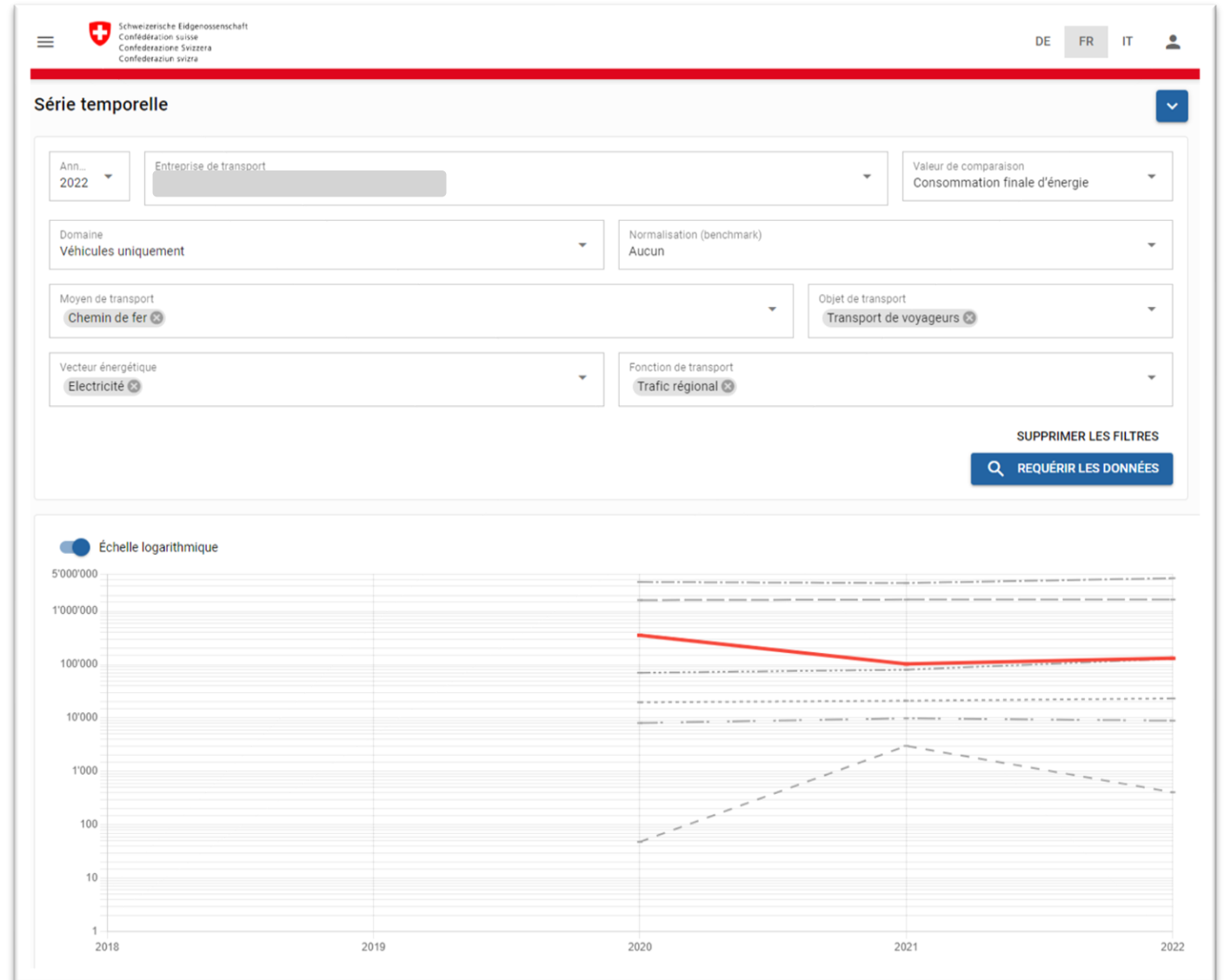




# Analyse des données pour les entreprises

Chaque entreprise de transport peut analyser ses données sur le site web.

Webkennzahlen - Monitoring Energie





# Évaluation des données 2022

Consommation d'énergie

**total : 13 423 TJ**

*env. 5% des transports CH : 245 120 TJ*

Chemin de fer : 51 %

Autobus : 35 %

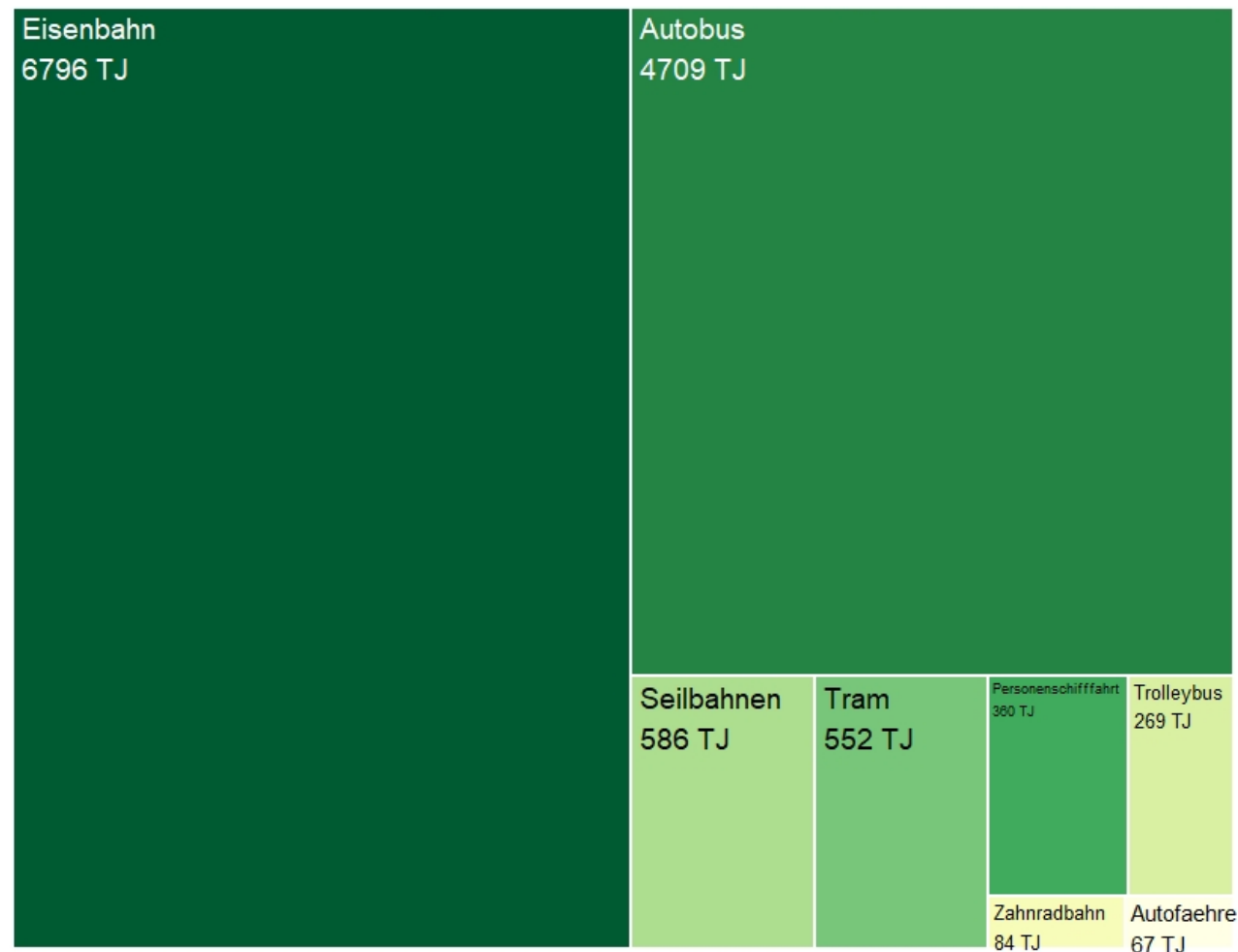
Tram : 4 %

Transport par câble : 4 %

Navigation: 3 %

Trolleybus : 2 %

## Consommation d'énergie par moyen de transport



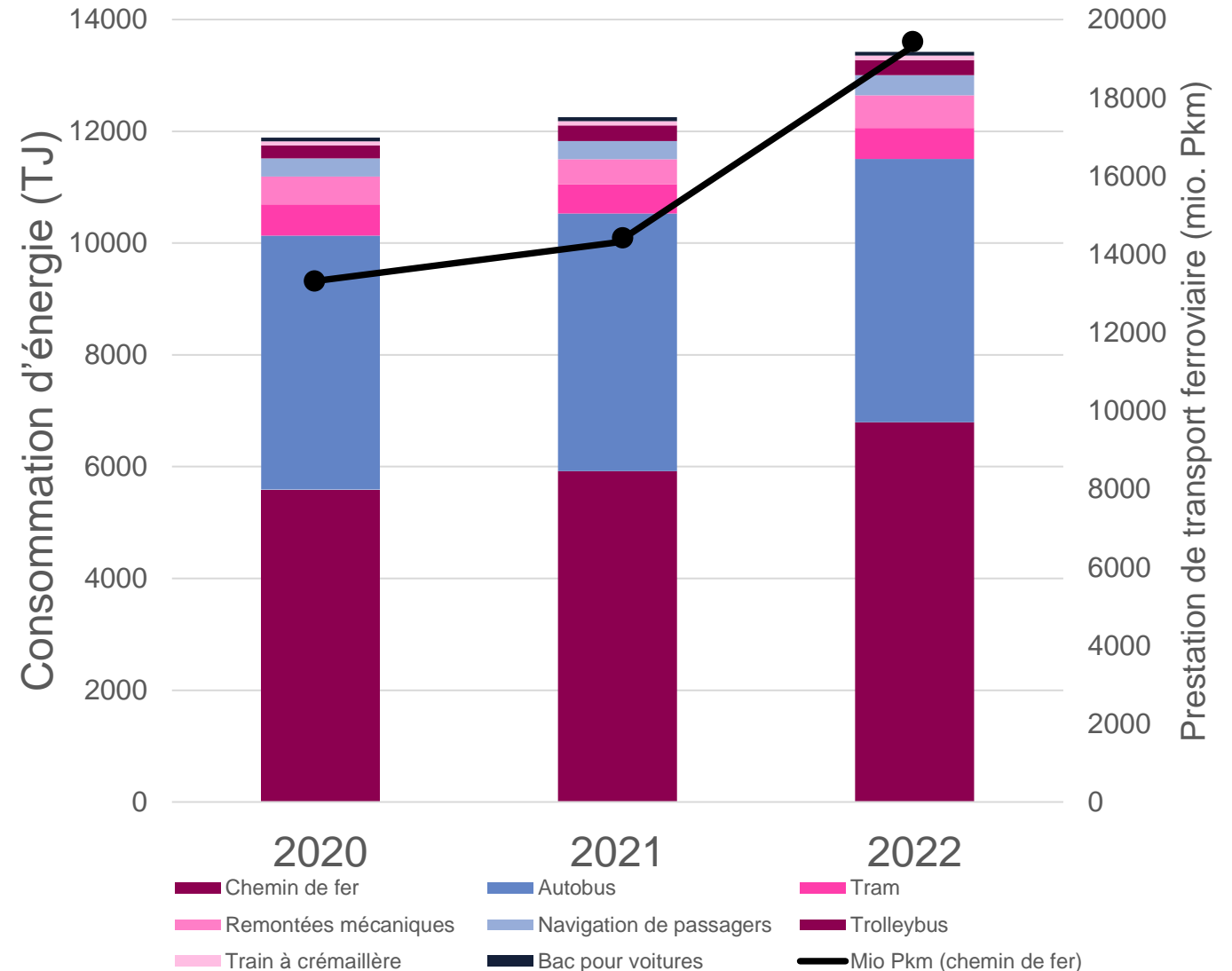




# Consommation d'énergie 2020-2022

## Évolution de la consommation d'énergie

- Augmentation **de la consommation d'énergie de 15 %** (chemin de fer)
- Augmentation **des prestations de transport de 35 %** (chemin de fer)





# Évaluation des données 2022

Émissions CO<sub>2</sub>eq

**total : 0,42 mio. de tonnes**

*env. 3 % du trafic CH : 13,75 mio. t*

Autobus :	81 %
Chemin de fer :	7 %
Navigation :	6 %
Transport par câble :	3 %
Tramway :	1 %
Trolleybus :	1 %

## Émissions CO<sub>2</sub>eq par moyen de transport







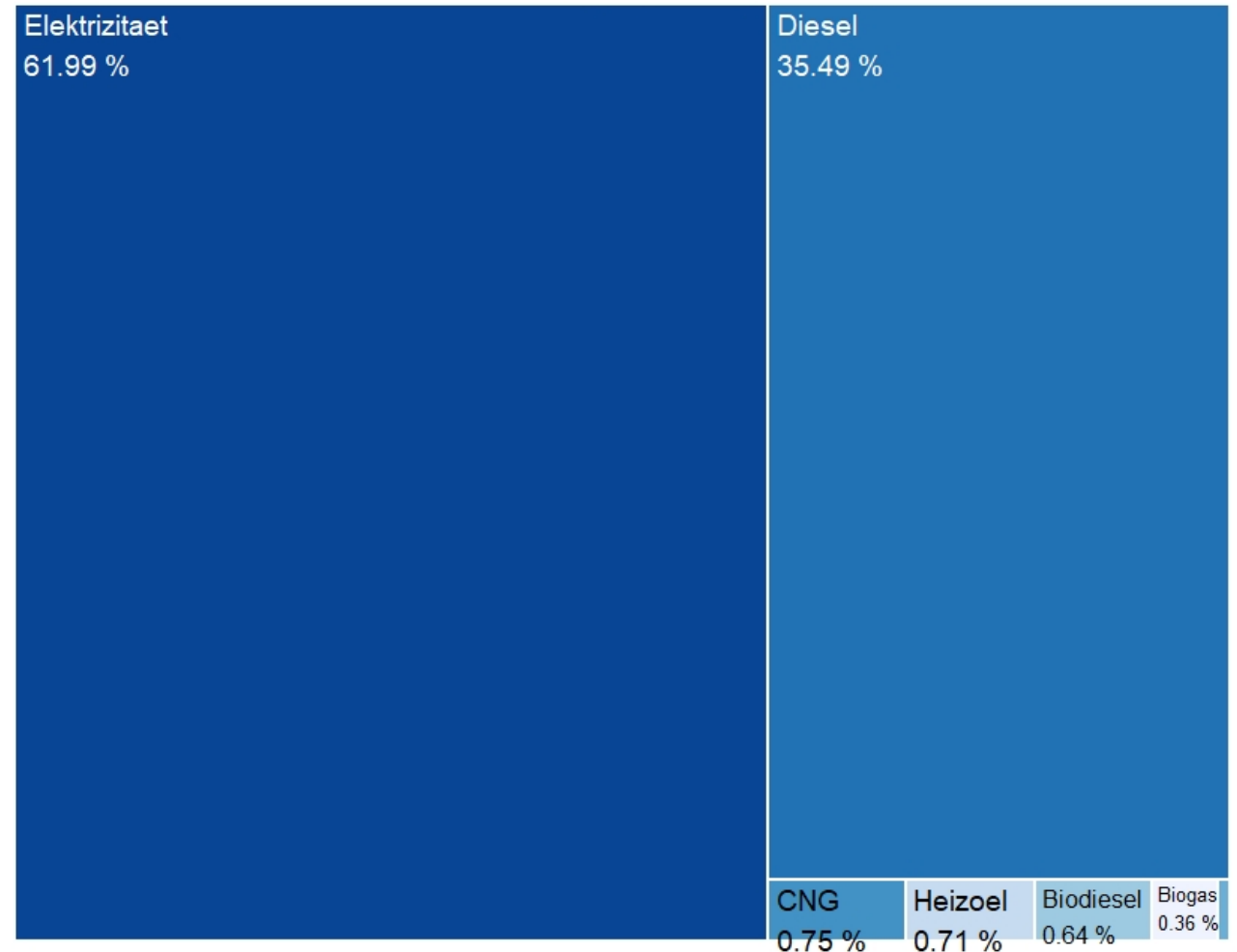
# Évaluation des données 2022

## Décarbonation des transports publics

Électrifiés **62 %**

Biocarburants  $\leq 1 \%$   
(biodiesel, biogaz)

## Part des sources d'énergie dans les TP





# Évaluation des données 2022

Part des sources d'énergie pour les **autobus**

- Diesel près de 95 %
- Électricité : 1,1 %

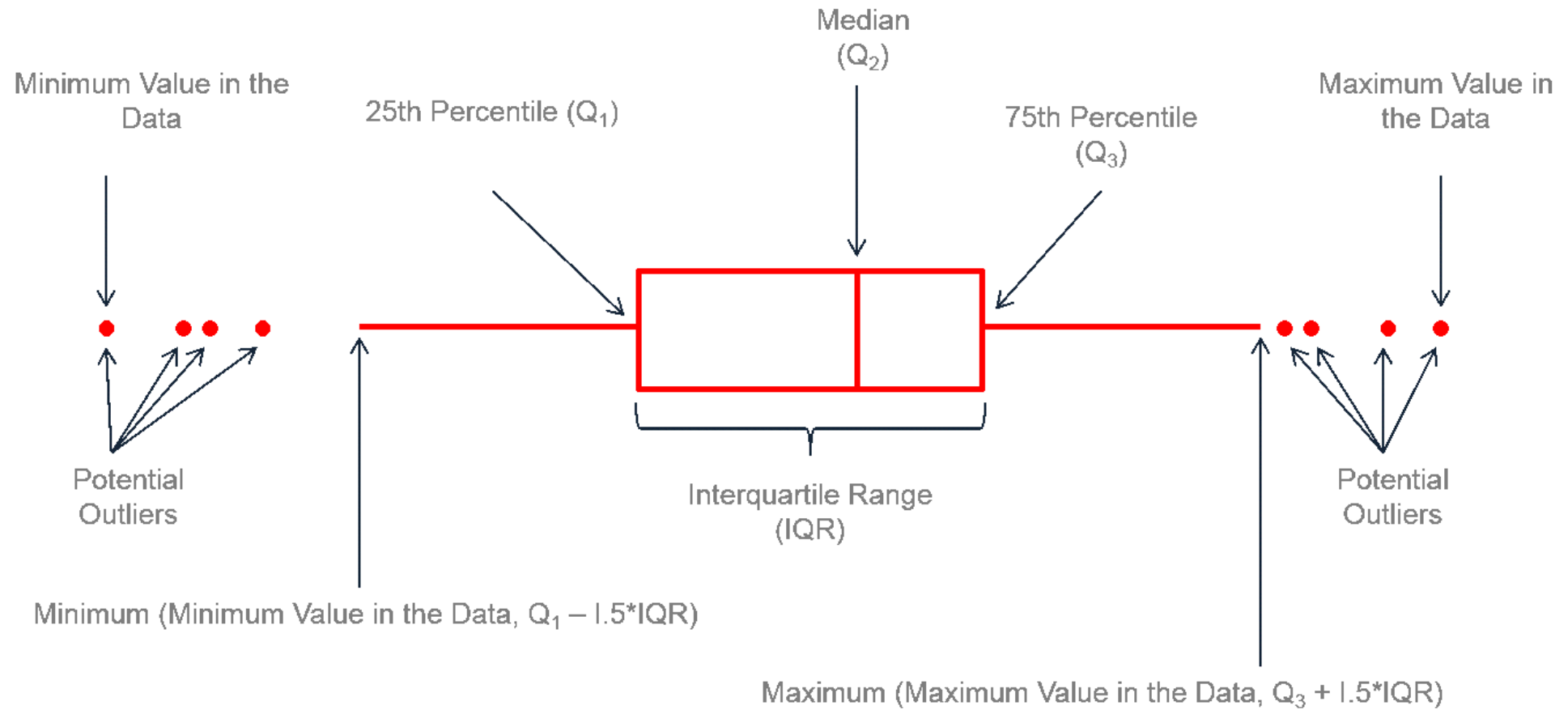
Autobus uniquement







# Boxplots



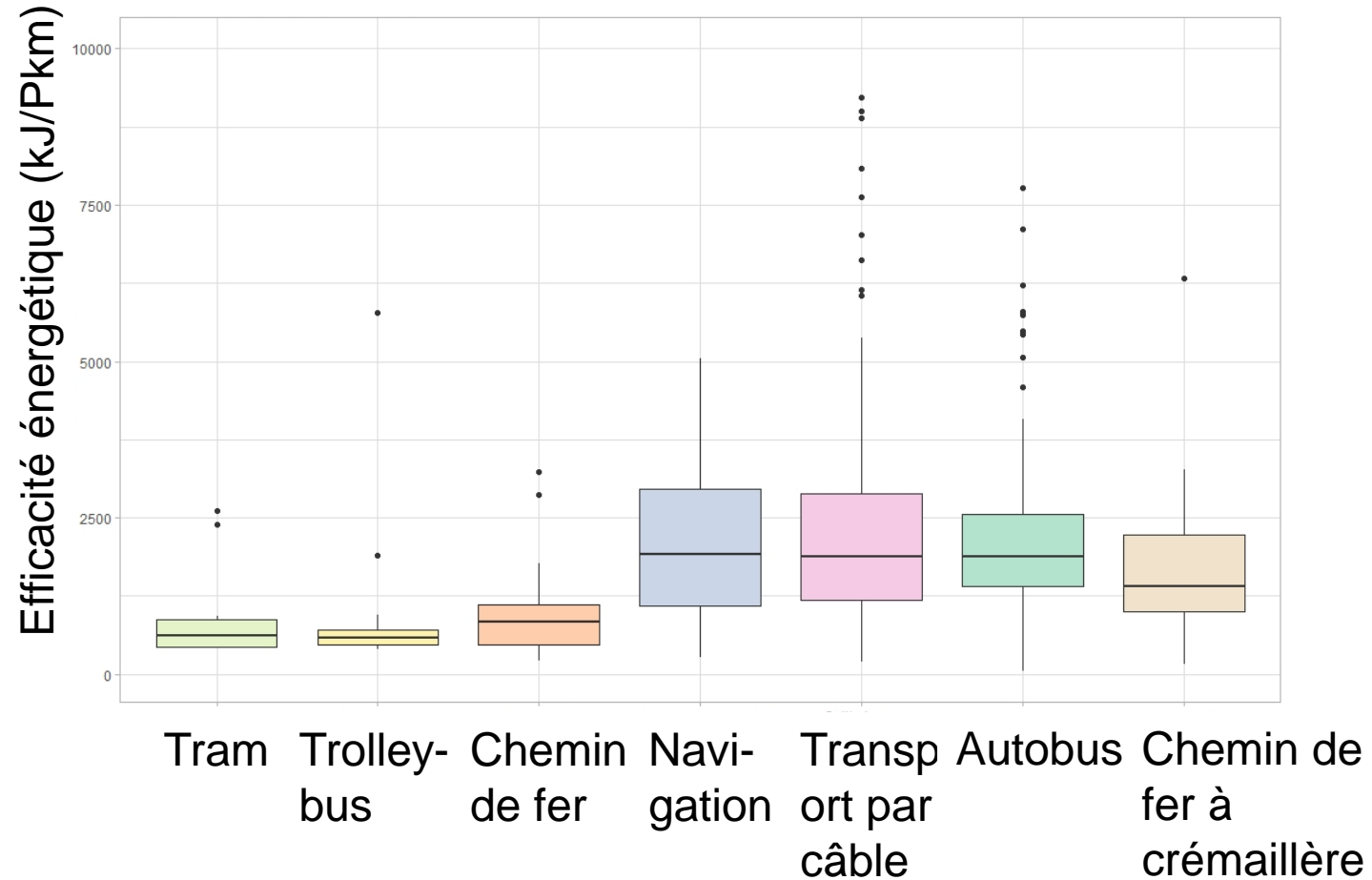


# Efficacité énergétique (kJ/km) de tous les modes de transport

## Consommation d'énergie par Pkm

**Trolleybus, tram et train** les **plus efficaces sur le plan** énergétique (environ un facteur 3 par rapport aux téléphériques et aux autobus)

Grande dispersion pour les transports par câbles et les autobus  
(*doit être analysé plus en détail*)







# Conclusion

- La collecte de données est fiable depuis 2020.
- Les indicateurs énergétiques permettent des analyses détaillées de la consommation d'énergie, des émissions de gaz à effet de serre et de l'efficacité énergétique.
- Les tendances ne sont pas encore visibles.
- Des connaissances importantes :
  - ✓ Les transports publics sont (seulement) électrifiés à 62 %.
  - ✓ Les émissions CO<sub>2</sub>eq sont dominées par les autobus et le transport maritime de passagers.
  - ✓ Le train, le tram et le trolleybus sont les moyens de transport les plus efficaces sur le plan énergétique.



à toutes les entreprises  
pour les données !



# Perspectives

- Poursuivre **la collecte** régulière **de données** (assurer la qualité).
- **Publier annuellement** les indicateurs énergétiques.
- **Analyser les** données de **manière approfondie**.
- Formuler et communiquer les **conclusions** et les **mesures à prendre** du point de vue de la SETP 2050.







# **Bonnes pratiques dans le monde des transports publics (1/2)**

**Matthias Muri**

**Responsable de groupe Matériel  
roulant/e-systèmes, SOB**



# En avant pour les économies d'énergie

Réduction de la consommation énergétique dans les FLIRT de la SOB

Arguments – possibilités – potentiels – mesures concrètes

---

Forum «Énergie durable» de l'UTP, Soleure, 30.11.2023



**SOB SÜDOSTBAHN**  
*gerade unterwegs*



# En avant pour les économies d'énergie

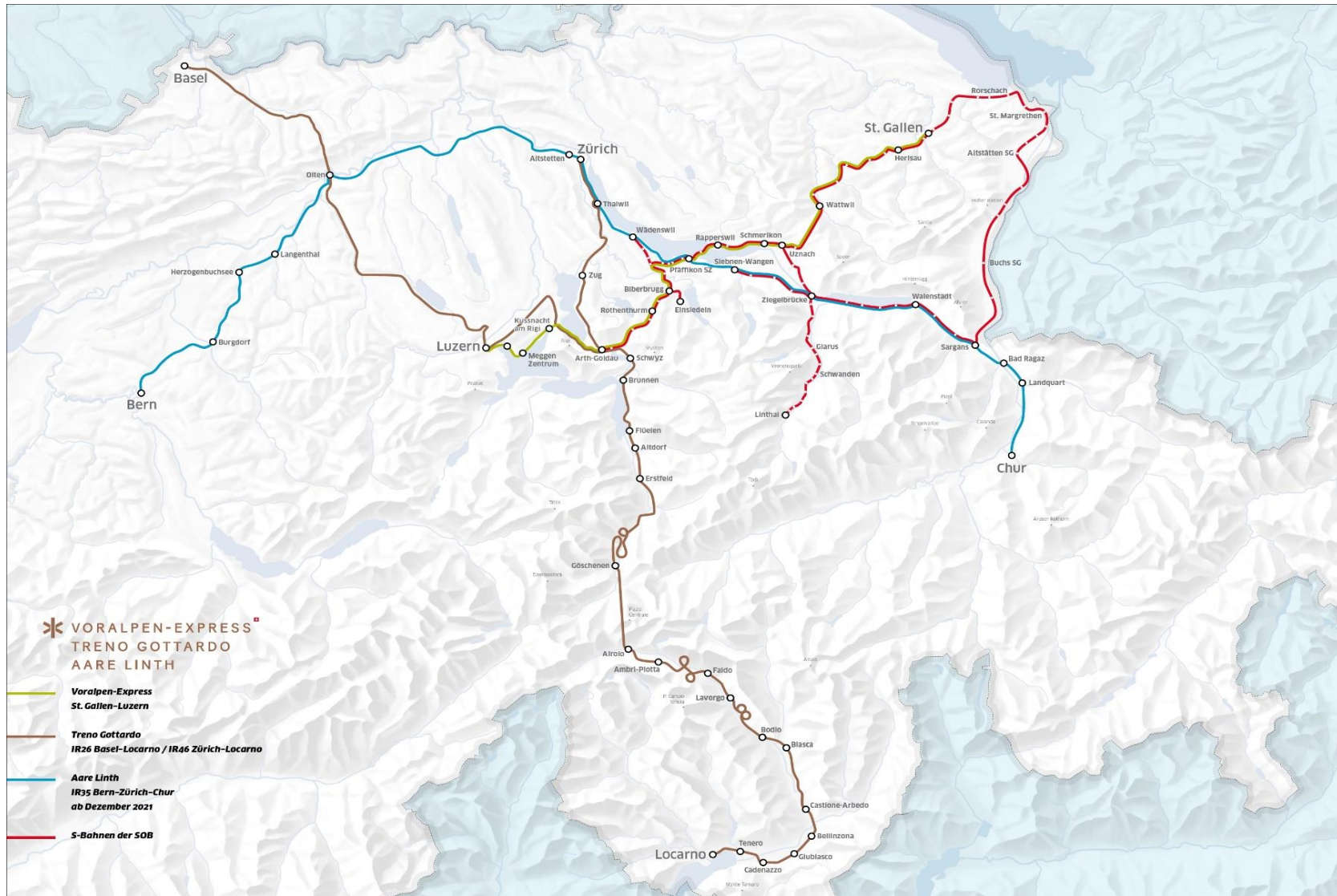
## – Plan

---

- Introduction / contexte – bref portrait de l'entreprise et de ses véhicules
- Arguments en faveur de trains économes
- Mesures d'économies et possibilités – qu'est-ce qui en vaut la peine?
- Mesures d'économies les plus utiles
  - Optimisations des composants
  - Optimisations du système
  - Optimisations de l'exploitation
  - Optimisations des processus opérationnels
- Taux d'économie à l'exemple du Flirt3/Traverso
- Synthèse
- Conclusion et perspectives

# Portrait de l'entreprise

## – Réseau de lignes «VAE», «TRG», «ALI», «ARX», RER





# Portrait de l'entreprise

## – VORALPEN-EXPRESS (St-Gall–Lucerne: 125 km)

---





## Portrait de l'entreprise – TRENO GOTTARDO (Zurich/Bâle–Locarno: 208/291 km)

---





# Portrait de l'entreprise

## – AARE LINTH (Coire–Zurich–Berne: 236 km)

---





## Portrait de l'entreprise

– **ALPENRHEIN-EXPRESS** (Coire–St-Gall: 106 km) / fin 2024

---





## Portrait de l'entreprise

– RER (tour du Säntis, March, Linthal, Einsiedeln, Arth-Goldau)

---





# Portrait de l'entreprise

## – Faits et chiffres / (début 2020 > fin 2022)

### Réseau de lignes, propre (*tiers*)

- 111 km (**870 km**)
- 192 ponts/viaducs/passages supérieurs/inférieurs  
> + haut/+ long: viaduc de la Sitter: 99/365 m
- 19 tunnels (longueur: 7054 m)
- 33 gares et arrêts
- 50‰ de déclivité maximale
- de 399 à 933 mètres d'altitude, de Romanshorn à Biberegg  
(**de 274 à 1142 m, de Bâle à Airolo**)

### Véhicules moteurs

- 62 trains/rames, 4 véhicules de chantier

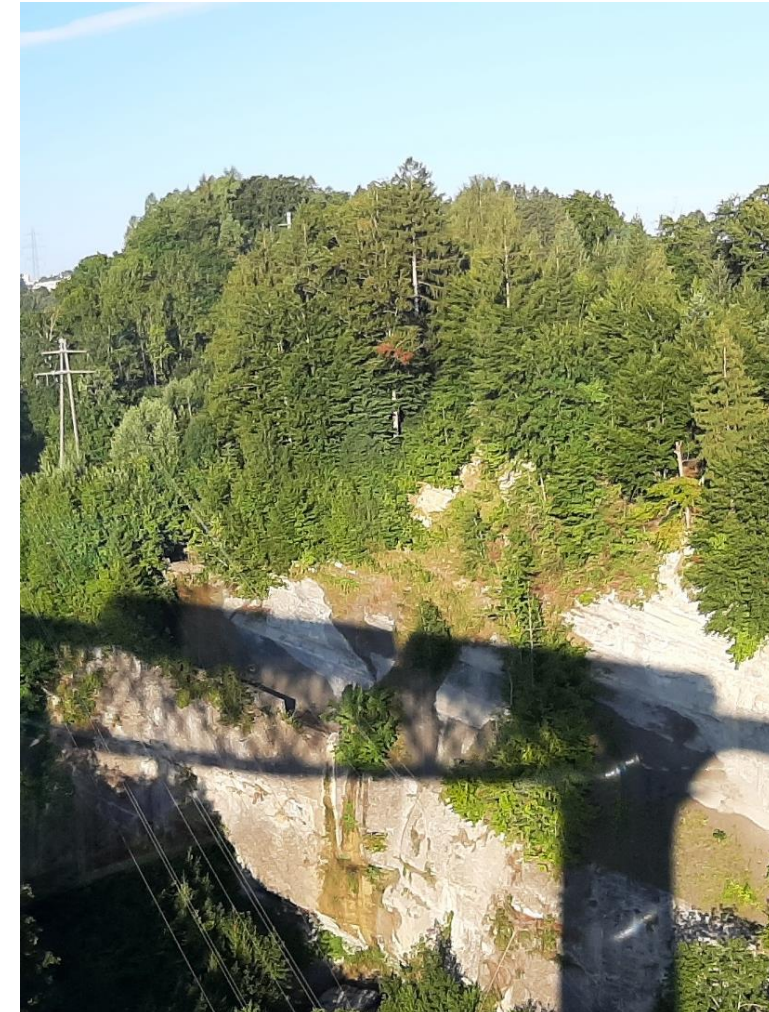
### Collaborateurs

- Environ 600 > **960**

### Voyageurs

9,9 mio. > **27 mio.**

**Kilomètres de train/bus** env. 5,3 > **11,5 mio.**





# Portrait de l'entreprise

## – Flotte de véhicules / fin 2022 (fin 2026)



24 (+6) RABe 526 Traverso



10 (+3) RABe 526 Flirt 3



23 RABe 526 Flirt 1/2



4 (-1) RBDe 4/4 / Bt NPZ



1 BDe 4/4



4 Tm 234 Robel

## En avant pour les économies d'énergie – 7 arguments en faveur de trains économes

---

- Exigences du cahier des charges – beaucoup devrait être un standard aujourd'hui...
- Taxes des sillons – au moins comme argument de négociation
- Occasions / circonstances favorables – p. ex. lors d'un refit
- Subventions – EnergieZukunftSchweiz, ProKilowatt, etc.
- Hausse des prix de l'énergie
- Pénurie d'électricité
- ... et enfin – la joie de rendre les trains «**techniquement beaux**»



## En avant pour les économies d'énergie – Mesures d'économie: possibilités

---

- Il y a «100 possibilités» – lesquelles en valent la peine? (**gras = les plus utiles**)
  - Mesures mécaniques (*p. ex. palier guide d'essieu hydraulique*)
  - **Récupération d'énergie au freinage** (*standard «évident»*)
  - **Composants économes en énergie**
  - **Pertes minimales du système d'entraînement**
  - **Paramétrage de l'apport d'air extérieur selon l'occupation**
  - Baisse de la température dans les compartiments voyageurs
  - Aide à la conduite / régulation adaptative et conseils d'économies
  - **Mode veille**
- L'accent est à présent mis sur l'économie d'électricité.

## En avant pour les économies d'énergie

### – Mesures d'économies: lesquelles en valent la peine? Raisonnnement

---

- On vise 35 ans de durée de vie pour les véhicules (Flirt3 / Traverso); elle sera probablement plus élevée (CFF Re 4/4 II: **env. 60 ans!**)
- Quelle durée de vie ont encore mes véhicules approximativement?
- Aujourd'hui, on compte environ 15 ans entre deux refits
- **Examen de la rentabilité! Principe: «La mesure en vaut la peine si elle est amortie après une demi-période de refit.»**

#### **Décision de mise en œuvre: oui ou non? «Règle d'or»:**

- **Si amorti en 1 à 8 ans => à réaliser tout de suite**
- **Si amorti en 9 à 15 ans => à réfléchir**
- **Si amorti en > 15 ans => pas de mise en œuvre**



## Optimisations des composants

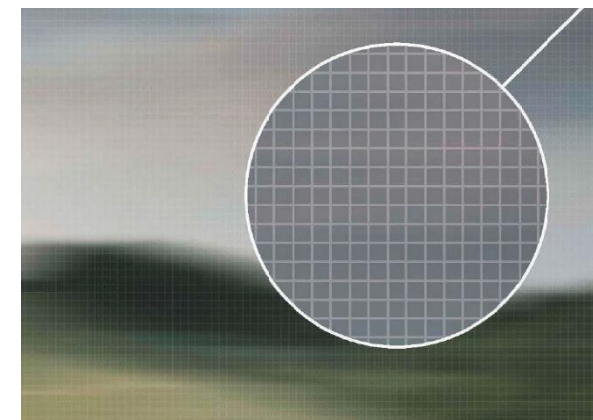
### – Exemple du transformateur à sec

- Les anciens transformateurs ont beaucoup de pertes, nécessitent beaucoup de place et sont lourds du fait du refroidissement à huile et des pompes.
- Les nouveaux transformateurs secs sans huile ont un refroidissement à air léger. Ils sont plus lourds mais leur place est optimisée et la part active a moins de déperdition.
- Baisse des coûts de maintenance (car sans huile) et du risque environnemental
- Le premier transformateur sec de tous les Flirt du monde a été installé sur le Flirt 063 de la SOB.
- À lui seul, ce changement a permis de réduire la consommation énergétique du Flirt de plus de 7 %!



## Optimisations des composants – Exemple des vitres

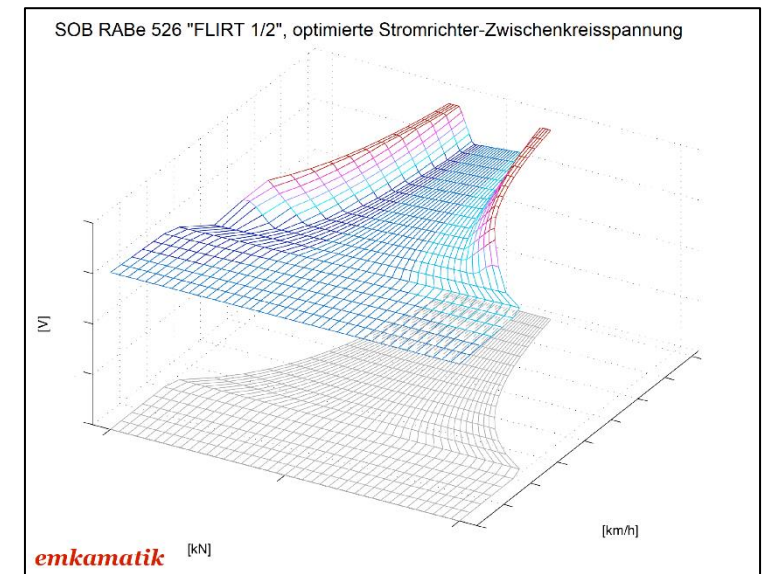
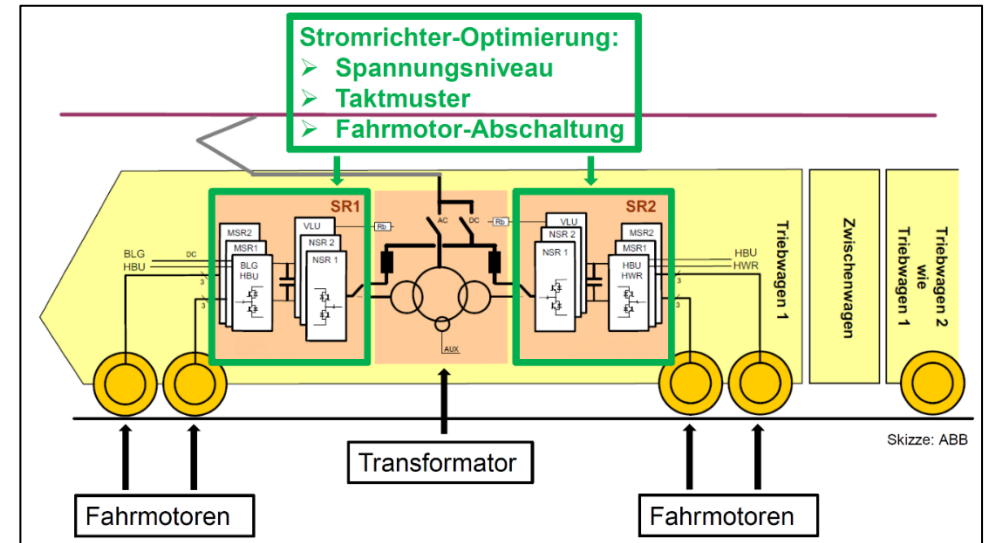
- Les fenêtres des véhicules de la SOB sont pourvues de double vitrage.
- Le côté intérieur du verre extérieur est recouvert d'une couche d'isolation métallique.
- Dans celle-ci, une structure de l'épaisseur d'un cheveu humain améliore la réception du réseau mobile.
- Cette grille n'est visible à l'œil nu qu'en n'y regardant de très près.
- Mise en place à la SOB déjà en 2017



## Optimisations du système

### – Exemple de l'entraînement / Minimisation des pertes d'entraînement

- Sur les véhicules électriques, les pertes du système d'entraînement peuvent être largement réduites par une optimisation globale. Cela passe notamment par un paramétrage ciblé des rapports de tension dans le convertisseur de traction et de ses modèles rythmiques. Lors d'une puissance/force de traction faible, les moteurs de traction sont éteints (fonctionnement en charge partielle).
- Optimisations réalisées:
  - Tension de circuit intermédiaire du convertisseur
  - Flux magnétique du moteur de traction
  - Fonctionnement en charge partielle (extinction des moteurs de traction)
  - Modèle de pulsation du convertisseur d'entraînement («flattop»)
  - Blocage de l'heure du convertisseur de réseau





## Optimisations du système

### – Exemple du système de ventilation / Apport d'air extérieur selon l'occupation

- **Avant:** taux d'air extérieur constants et fixes, dépendant de la température extérieure et surdimensionnés
- **Aujourd'hui:** critères de qualité de l'air ambiant, p. ex. concentration de CO<sub>2</sub>, mesurée grâce à des capteurs de CO<sub>2</sub>.  
En cas de faible occupation, moins d'air extérieur doit être mélangé à l'air ambiant > moins d'air doit être chauffé ou refroidi > économie d'énergie
- **Flirt1:** principe optimisé
  - **taux d'air extérieur minimisé**
  - **fonctionnement simple**
  - **baisse des charges de mise en service**
  - **presque indépendant de la température > logique selon l'occupation**

mittlere Außentemperatur (Tem)	Mindestfrischluftmenge +20 °C und 50 % Luftfeuchte,
Tem < 15 °C	10 m <sup>3</sup> /h je Fahrgast
-15 °C ≤ Tem ≤ -5 °C	15 m <sup>3</sup> /h je Fahrgast
-5 °C < Tem ≤ +26 °C	20 m <sup>3</sup> /h je Fahrgast
Tem > +26 °C	15 m <sup>3</sup> /h je Fahrgast

Quelle: EN 13129

Aussentemp [°C]	CO <sub>2</sub> -Schwellen [ppm]		
	<1600	>1600/<1300	>2150/<1850
< -20	<b>5</b> m <sup>3</sup> /P/h	<b>5</b> m <sup>3</sup> /P/h	<b>10</b> m <sup>3</sup> /P/h
-20...-5 /-5...+26 /+26...+35	<b>5</b> m <sup>3</sup> /P/h	<b>10</b> m <sup>3</sup> /P/h	<b>15</b> m <sup>3</sup> /P/h
> +35	<b>5</b> m <sup>3</sup> /P/h	<b>10</b> m <sup>3</sup> /P/h	<b>10</b> m <sup>3</sup> /P/h

Flirt1: SOB/Faiveley

## Optimisations de l'exploitation

### – Exemple du mode veille, véhicules en économie d'énergie

---

Lorsque les véhicules sont parqués, la **température des compartiments peut fortement diminuer** en cas de températures extérieures froides et **fortement augmenter** en cas de températures extérieures chaudes et/ou de rayonnement solaire, et ce **sans chauffage ou refroidissement durable**. De plus, certains systèmes sont désactivés.

Avant l'engagement du train, les compartiments sont ramenés à une température agréable.

#### Fonctions d'économie

- **Chauffage/climatisation:** la température des compartiments est maintenue **entre 10 et 40°C**; les WC restent à la normale (min. 20°C / protection antigel)
- **Ventilation, chauffage, climatisation:** la climatisation fonctionne sans apport d'air extérieur
- **Désactivation des systèmes:** 3/4 transfo-convertisseur, information à la clientèle, éclairage intérieur

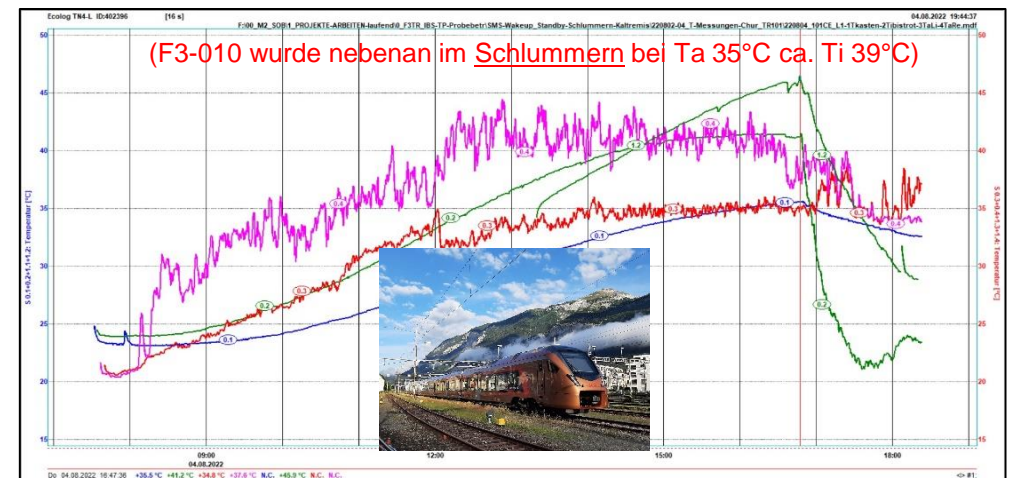
#### Activation après

- 60 minutes en position parc ou 2 minutes parc + extinction de l'éclairage dans les compartiments voyageurs, portes verrouillées, verrouillage central activé

# Optimisations de l'exploitation

## – Exemple du «stand-by», véhicules éteints

- Motifs: réduction du bruit et économie d'énergie
- Fonction de réveil par une surveillance de la température et des critères temporels pour recharger les batteries
- La centrale réveille le véhicule avant son engagement par un enclenchement à distance
- Problématique: évaluation de la température en été / hiver par capteurs
- Problématique: exploitation de la zone bistrot du Traverso en cas de températures élevées
- Problématique: étanchéité du train (réserve d'air pour l'enclenchement), soit durée de mise à niveau





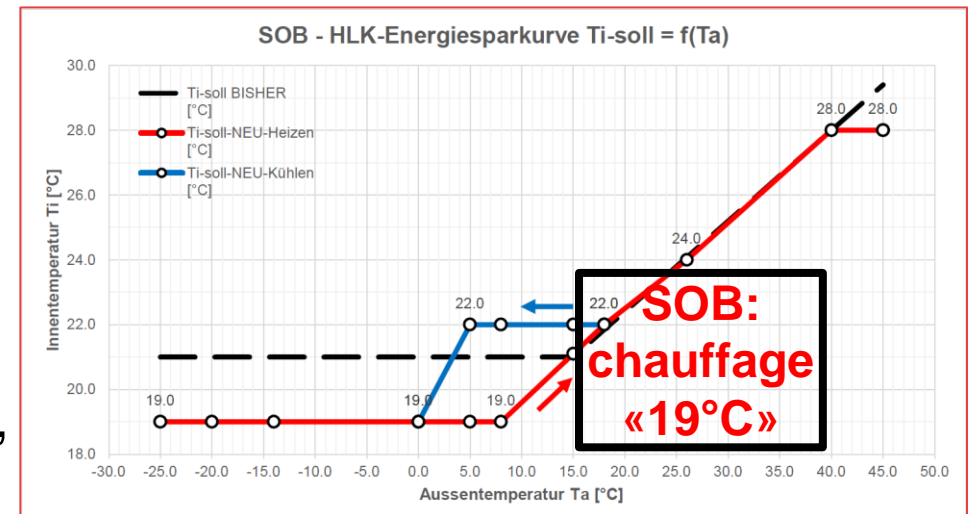
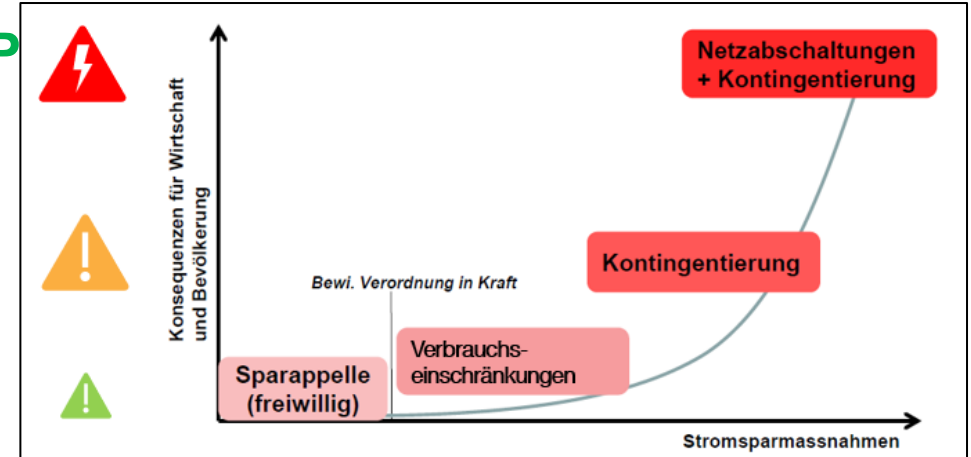
# Optimisations de l'exploitation

## – Exemple de la réduction de la température des compartiments

- Pénurie d'énergie > contribution officielle des TP aux économies d'énergie



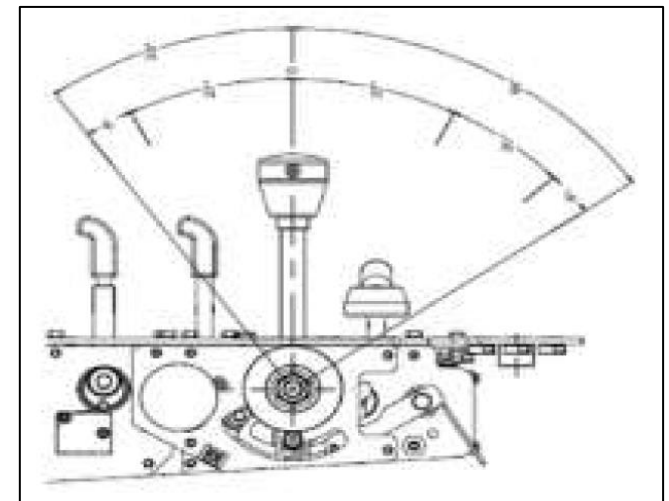
- Courses de mesure/contrôle du fonctionnement avec Flirt1, Flirt2, Flirt3 / Traverso 2022-23
  - Optimisation de la courbe théorique  $T_i$  «-2K»
  - Optimisation des fonctions
- Essais / exploitation test à partir de novembre 2022, actif sur tout le territoire à partir de novembre 2023



## Optimisation des processus opérationnels

### – Exemple du fonctionnement du véhicule / cadran des gaz

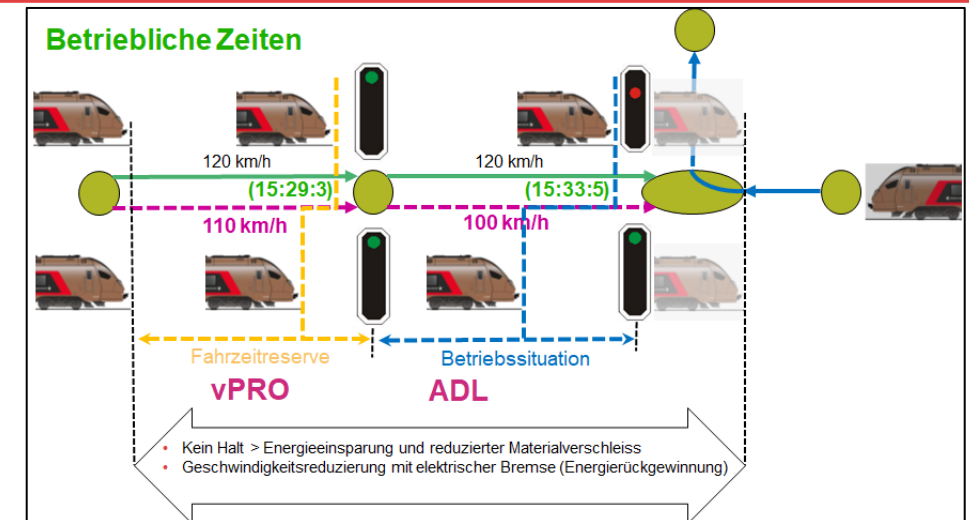
- Lors de l'accélération, les mécaniciens poussent inutilement souvent trop les trains (demandent des performances trop élevées), ce qui implique des pertes d'entraînement disproportionnées, sans pour autant économiser du temps de trajet en circulant à des vitesses élevées.
- Il est possible d'économiser de l'énergie (surtout) à l'accélération, mais aussi avec le freinage électrique, lorsque la poignée de gaz n'est pas poussée à fond (si inutile).
- On ajoute donc des cadrans indiquant le 75 % de la puissance de traction et le 50 % de la puissance de freinage.



# Optimisation des processus opérationnels

## – Exemple de la régulation adaptative «vPRO / ADL»

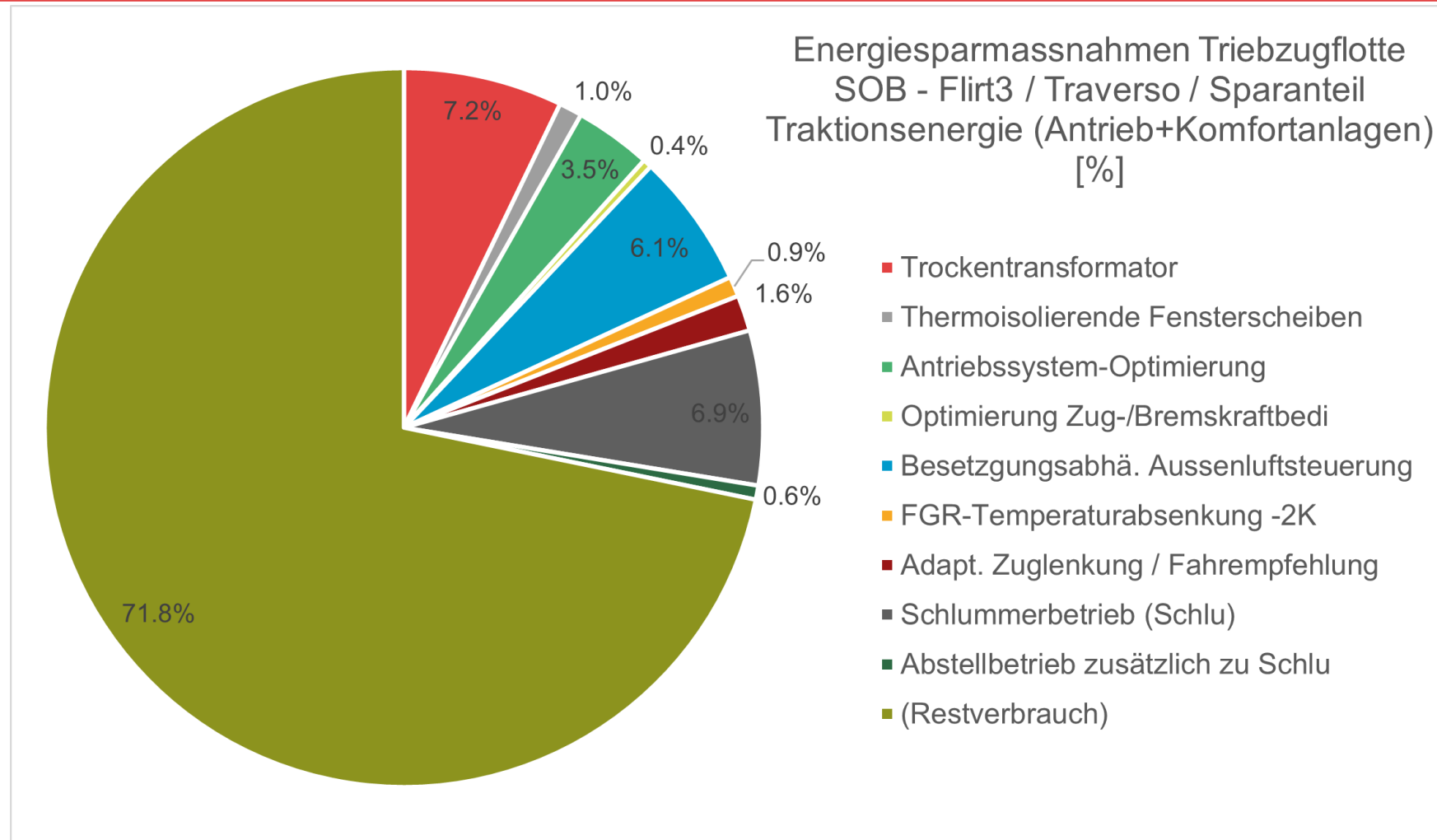
- **Niveau I: «vPRO»** calcule à l'avance les réserves de temps de trajet par rapport à l'horaire; pilotage possible du train à une **vitesse plus faible** > **économie d'énergie**
- **Niveau II: «ADL»** calcule la vitesse optimale **vOpt** selon la situation d'exploitation du moment et l'affiche dans la marche du train > **éviter les arrêts** imprévus et fluidifier l'exploitation
- Objectifs de la combinaison «vPRO / ADL»
  - Améliorer la stabilité de l'horaire
  - Optimiser les capacités du réseau d'infrastructure
  - Réduire les arrêts dus aux signaux
  - Réduire l'usure des matériaux
  - **Économiser l'énergie**



Zug 2371 (SOB) 23.03.2022									
Walenstadt									
ADL R150 14:59:13									
km	-	+	Funk	AE	Streckeninformationen	MAXPRO	An	Ab	
57.1	3	2	(1312)	sms	Ziegelbrücke 1)	70	125 125	14:58:0	14:59:5
33.6				5-10		100			
30.7	3	2			Weesen		160 125	(15:01:4)	
28.2					Block	S228/128			
26.7					Block	S227/127			
24.6	4	4			Mühlehorn	80	105 100	(15:05:2)	
24.0					K Ausf.	80			
23.2					km 23.20-22.94	80			
22.9					Gleis 21-11				
22.9					21-12				
23.3					Tiefenw.	S123			
21.4					Block	S222/122			
70 / 57.1 km / ZB / 1) Ziegelbrücke Seite Bitten, Beginn Bahnhofsgeschwindigkeit auf Höhe der ersten Weiche (km 56.6)									
80 (km 23.20-22.94): / Fahrrichtung Murg - Mühlehorn ist mit V-Überwachung 80 km/h									
Vopt 120 km/h									



## En avant pour les économies d'énergie – Taux d'économie à l'exemple du Flirt3 / Traverso



## En avant pour les économies d'énergie – **Économies** / Flirt1/2 + Flirt3 / Traverso

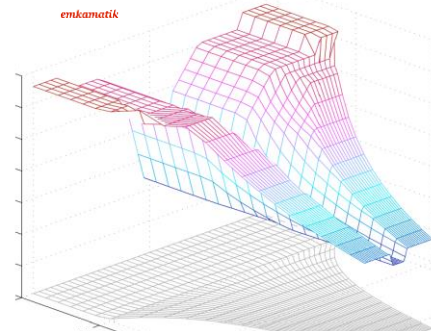
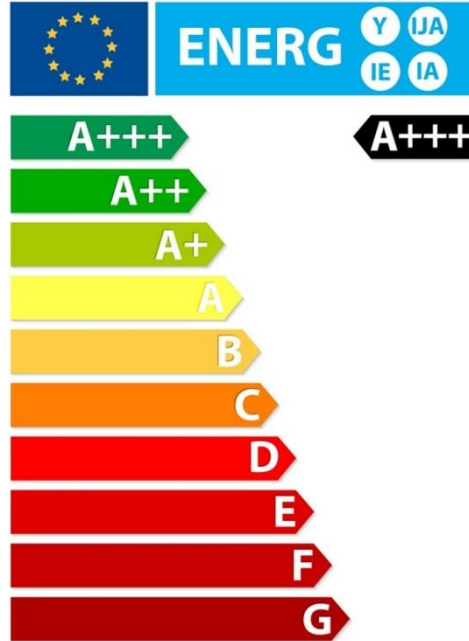
---

### Économies totales grâce aux mesures réalisées:

- **Énergie:** **17,9 GWh/an**  
(= env. 1/500 de la centrale nucléaire de Leibstadt: 9700 GWh/an)
- **Équivalents-ménages:** **4800 ménages/an** (3800 kWh/an)  
**6100 ménages/an** (3000 kWh/an)
- **Finances:** **2,2 mio. de francs/an** (12,5 centimes/kWh)  
**2,7 mio. de francs/an** (15,5 centimes/kWh)

En avant pour les économies d'énergie

– **Conclusion/objectif** ➤ des trains «techniquement beaux» /  
mise en œuvre jusqu'en 2024





# Merci pour votre attention!

## – Questions et réponses

---



• Trains SOB en mode veille

---

**SOB SÜDOSTBAHN**  
*gerade unterwegs*





**Pause jusqu'à 11h15**

# **Bonnes pratiques dans le monde des transports publics (2/2)**

# Passage à des entraînements propres

Déclarations des BVB, TPG, TPB et  
VBZ



**Olivier Augé**

**Responsable Ingénierie, tpg**



**σtpg**

GED #717824

# Électrification du réseau de bus des TPG

Olivier Augé  
Responsable Ingénierie

10<sup>e</sup> Forum Énergie 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<sup>re</sup> 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 tCO<sub>2</sub>/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.

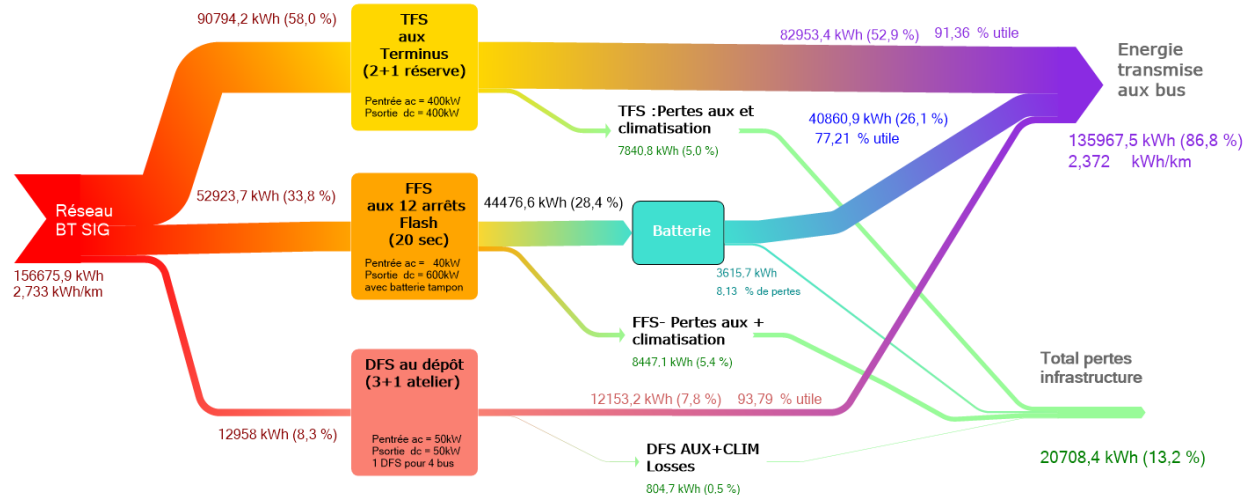
# Mars 2018 → Novembre 2023

## 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

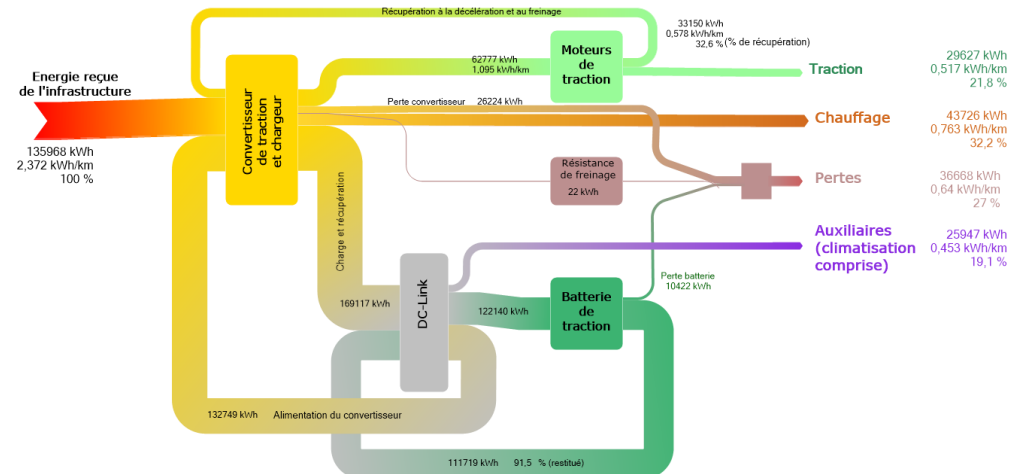
### TOSA Ligne 23 Infrastructure - Flux d'énergie

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

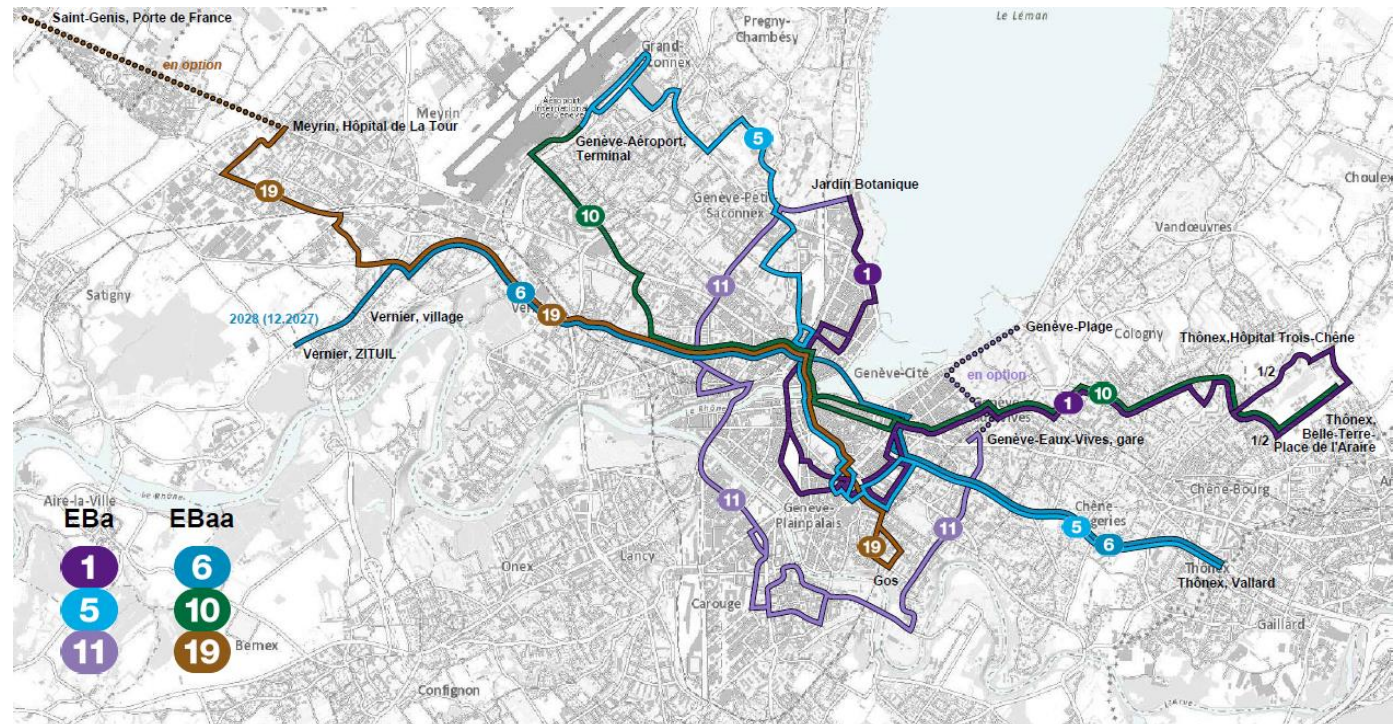
## Transition énergétique: le réseau

2025-2027

# 1<sup>re</sup> 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<sup>e</sup> 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 CO<sub>2</sub> 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  $\geq 10$  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/m<sup>2</sup>), 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



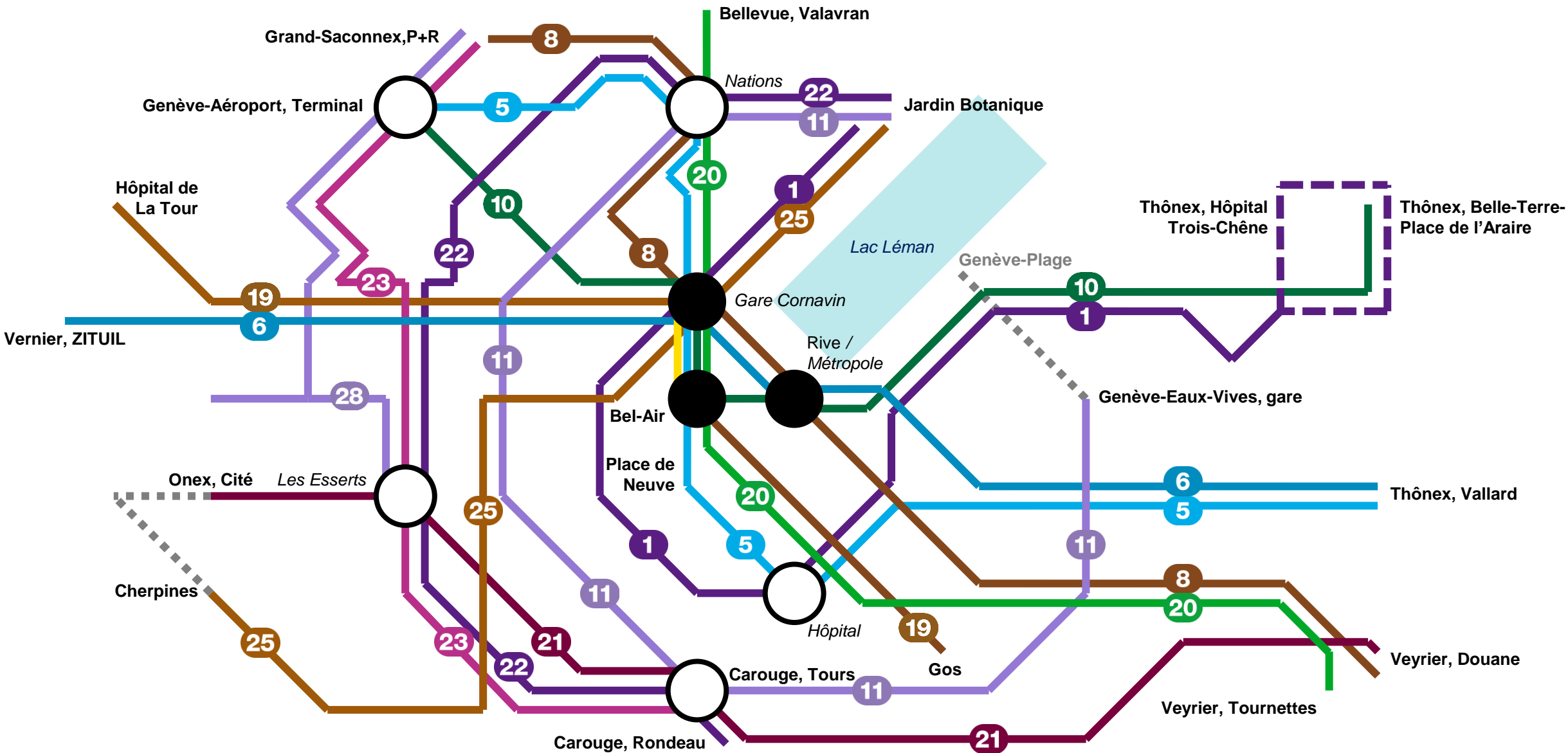
- Principe de base sur le réseau
  - Recharge à 600 kW aux terminus (MT) en moins de 5'
  - Recharge à 600 kW aux sous-stations intermédiaires/backup (BT)
- Principe de base aux dépôts
  - Recharge à 600 kW (idem terminus) à l'entrée au dépôt en max 5 min.
  - Remisage banalisé (idem bus diesel)
  - 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 CO<sub>2</sub>/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](mailto:Auge.Olivier@tpg.ch)





**Annarita Polacchini**

**Directrice des opérations, SNL**



Un projet de transition écologique dans la navigation:

Progetto **venti35**  
· zero emission ships ·

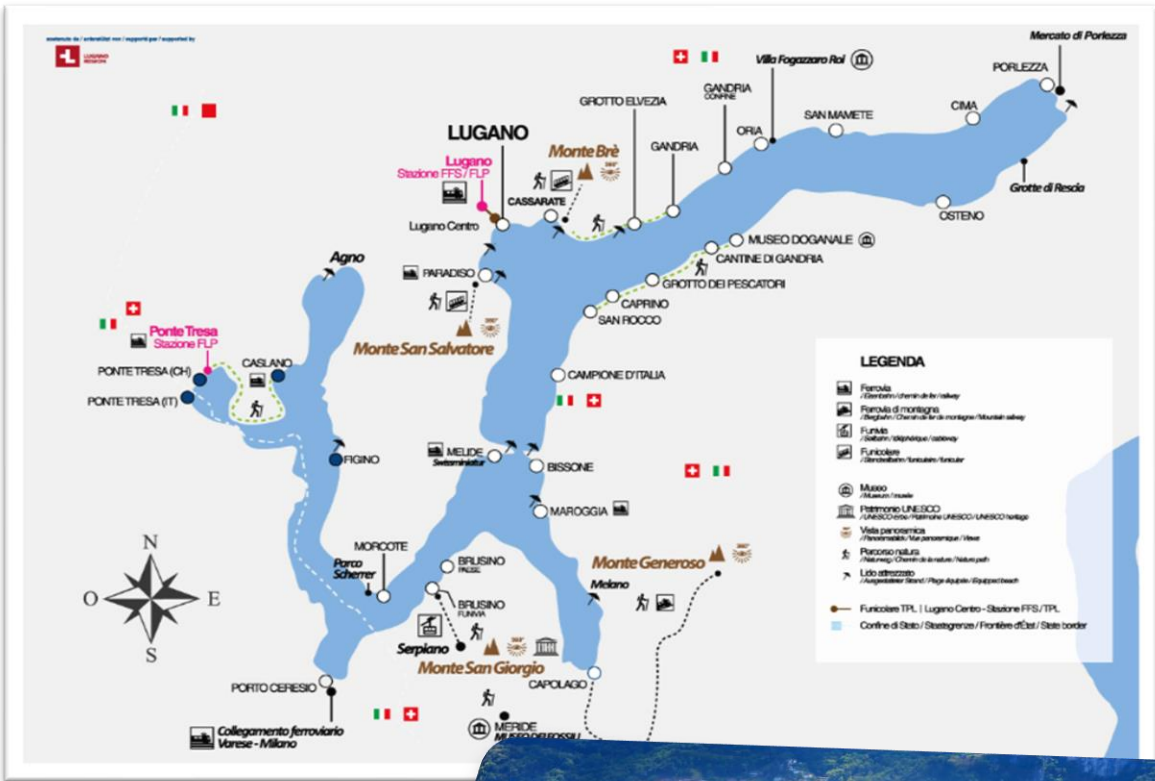
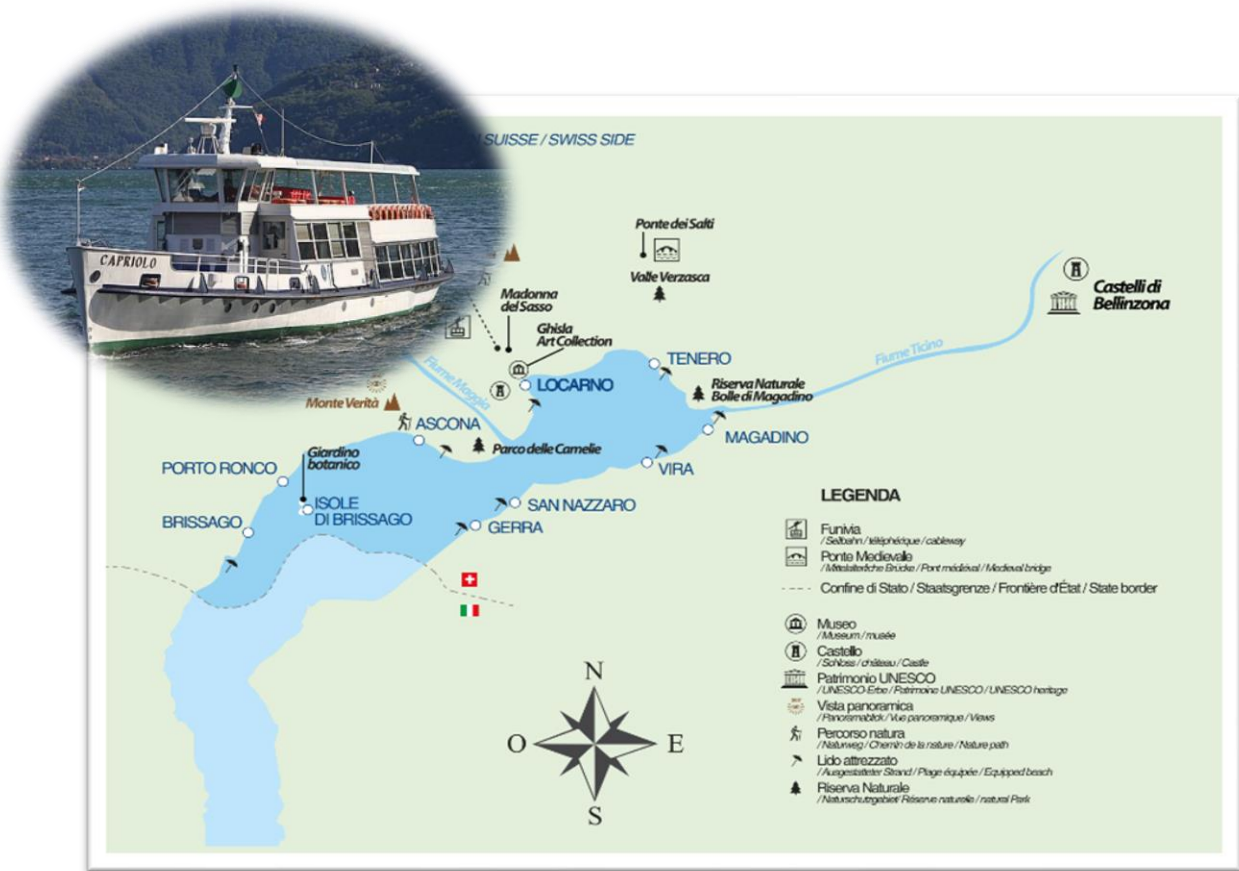
**Annarita Polacchini**  
**COO - Directrice des opérations**

**30 novembre 2023**









# LES SERVICES DE LA SNL

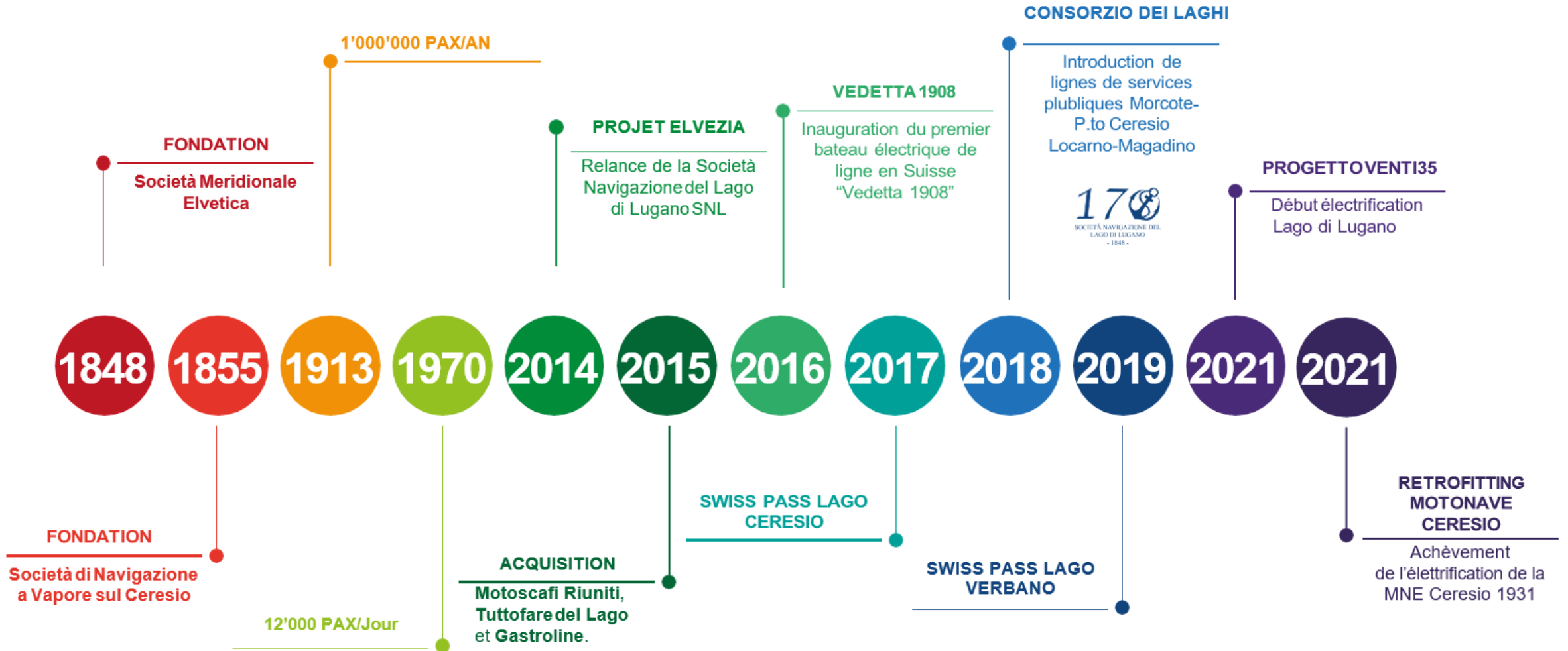


# LES SERVICES DE LA SNL



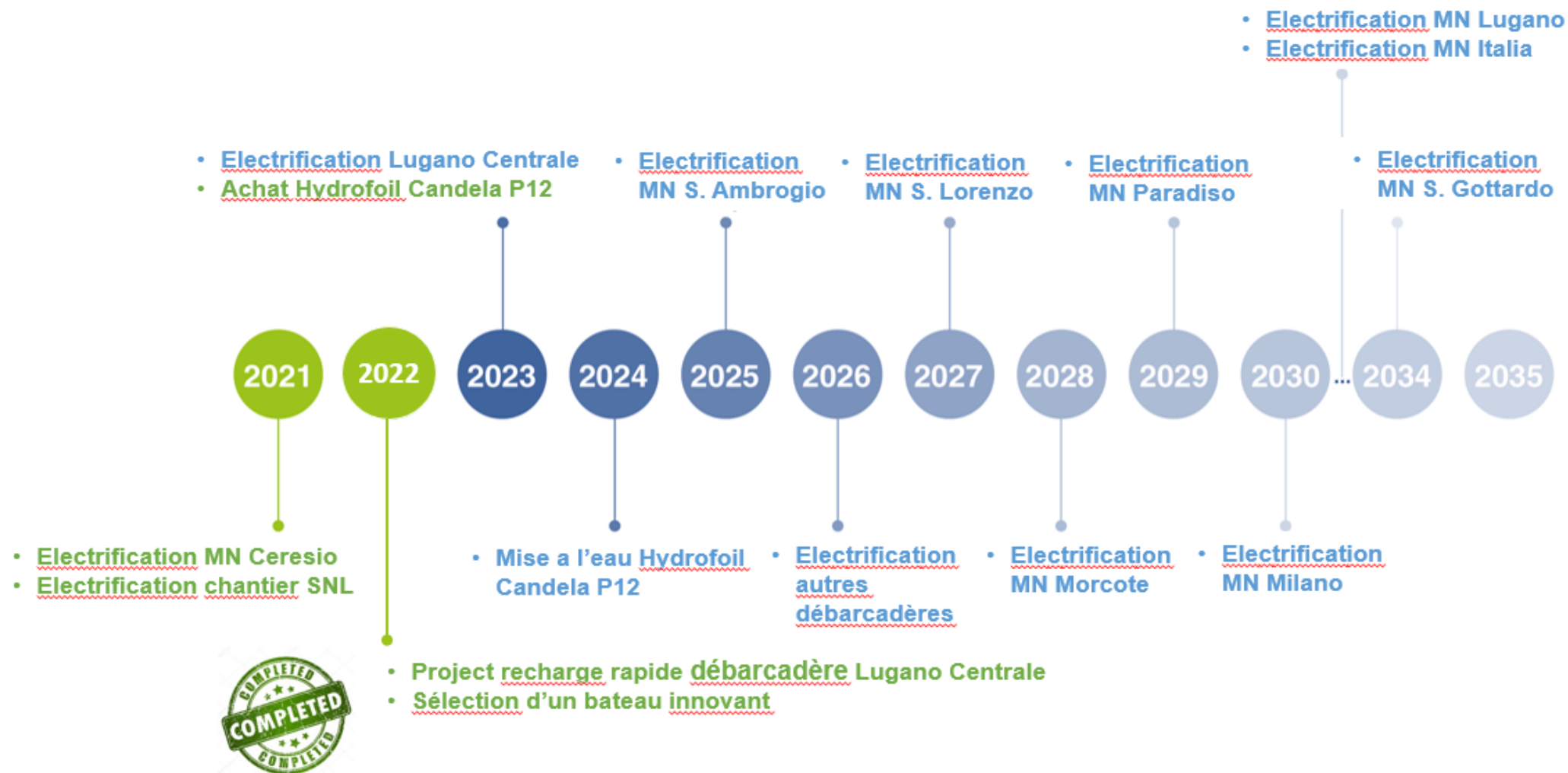
	Lac de Lugano	Lac Majeur	Bus	Total
 <b>Voyageurs</b>	306 000	471 000	278 000	1 055 000
 <b>Services</b>	13 100	6 700	19 500	39 300
 <b>Flotte</b>	12 bateaux dont 2 full-electric	5 bateaux en location	4 bus dont 2 hybrides	
 <b>Exercice</b>	heures de navigation: 17 500		km-bus 230 0005	







# FEUILLE DE ROUTE DU PROJET VENTI35



# À PROPOS D'ENTRAÎNEMENTS ÉLECTRIQUES...



Le premier bateau électrique en **2016**

## *Principales caractéristiques*

Année de construction	1908
Longueur totale	11,40 m
Largeur totale	2,70 m
Hauteur latérale	1,38 m
Nombre de places	30+1 pilote
Puissance	29 kW
Vitesse maximale	13 km/h
Capacité des batteries	24 kWh
Autonomie maximale	4 h



Le projet Venti35 vise à atteindre le **zéro émission** d'ici à l'année 2035.

Le projet prévoit la **modernisation des navires existants** avec des moteurs performants et respectueux de l'environnement, la **sélection de nouveaux bateaux** de haute technologie et la création d'une **infrastructure de recharge électrique** à terre.



venti35  
· zero emission ships ·





# TRANSFORMATION DU MN CERESIO

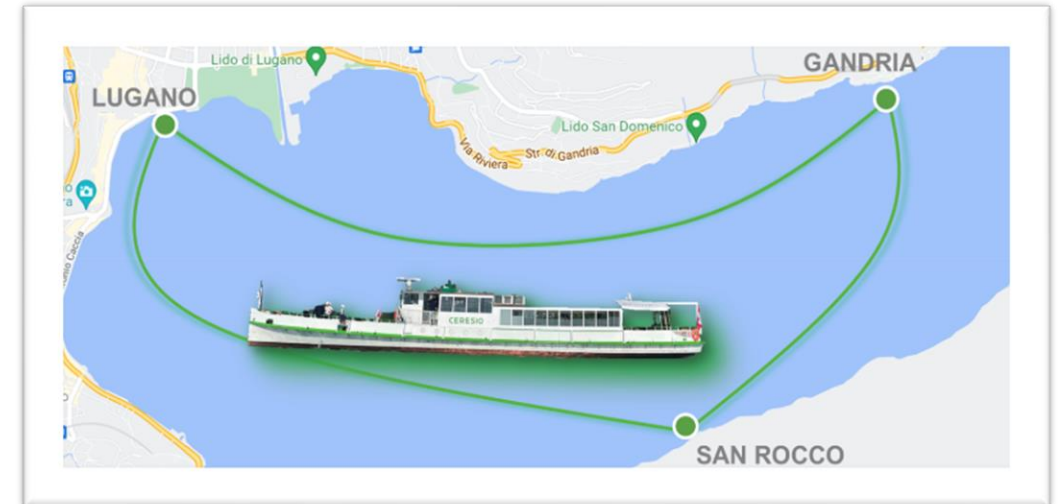


## Principales caractéristiques

Année de construction	1931
Longueur totale	31,35 m
Largeur totale	6,3 m
Nombre de places	240
Puissance	180 kW
Vitesse max.	23 km/h
Capacité des batteries	840 kWh
Autonomie max.	8 h
Réduction CO <sub>2</sub> (sept. 2021-nov. 2023)	env. 100 tonnes



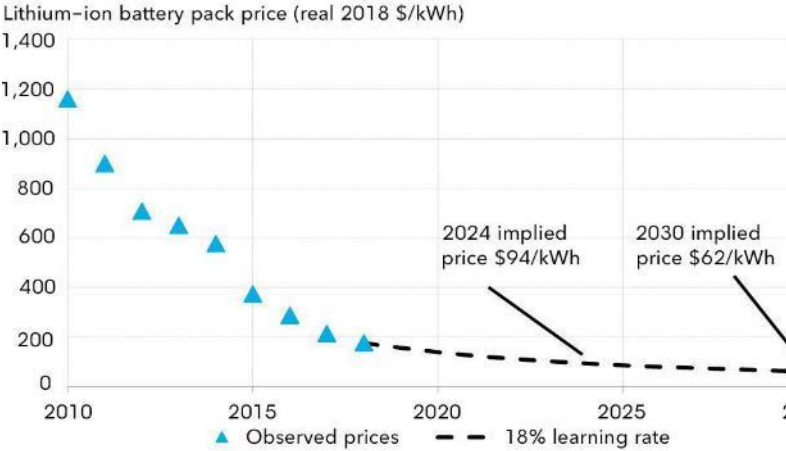
La ligne verte **Lugano – Gandria et San Rocco** est exploitée avec le MNE Ceresio, c'est la première ligne 100 % zéro émission sur les lacs suisses.



# LA FEUILLE DE ROUTE DU PROJET VENTI35 EST LIÉE À...

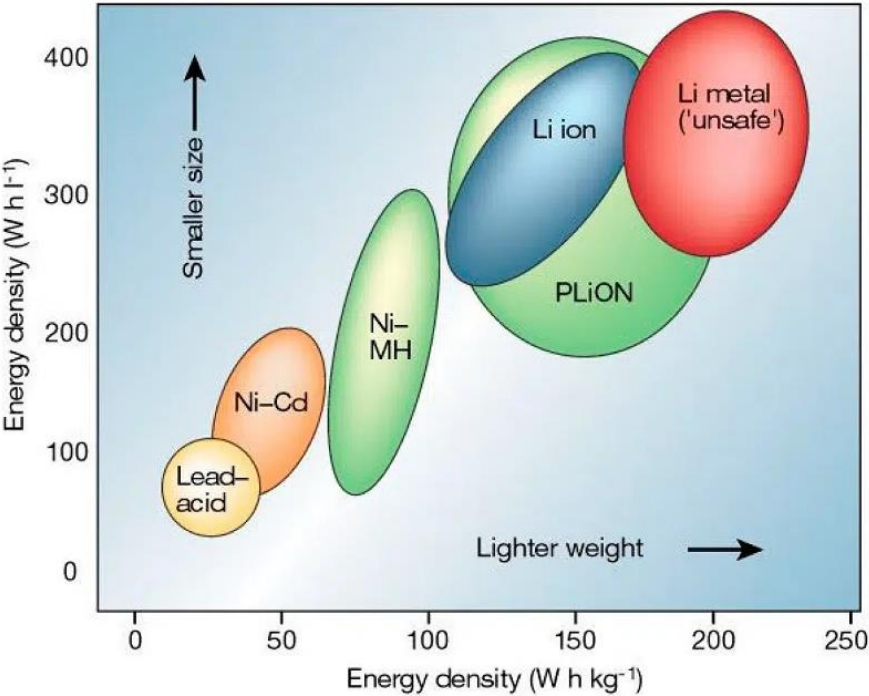


Lithium-ion battery price outlook



Source: BloombergNEF

Coûts



Densité d'énergie vs poids

HOW BATTERY CHEMISTRIES DIFFER, BY MINERAL CONTENT  
FOR A 60KWH LITHIUM-ION BATTERY

The name of the battery chemistry typically indicates the composition of the cathode.

	NMC811 Nickel (80%) Manganese (10%) Cobalt (10%)	NMC523 Nickel (50%) Manganese (20%) Cobalt (30%)	NMC622 Nickel (60%) Manganese (20%) Cobalt (20%)	NCA+ Nickel Cobalt Aluminum Oxide	LFP Lithium iron phosphate
LITHIUM	5KG	7KG	6KG	6KG	6KG
COBALT	5KG	11KG	11KG	2KG	0KG
NICKEL	39KG	28KG	32KG	43KG	0KG
MANGANESE	5KG	16KG	10KG	0KG	0KG
GRAPHITE	45KG	53KG	50KG	44KG	66KG
ALUMINUM	30KG	35KG	33KG	30KG	44KG
COPPER	20KG	20KG	19KG	17KG	26KG
STEEL	20KG	20KG	19KG	17KG	26KG
IRON	0KG	0KG	0KG	0KG	41KG

ELEMENTS

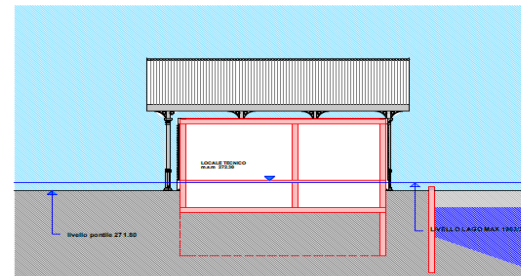
Technologies



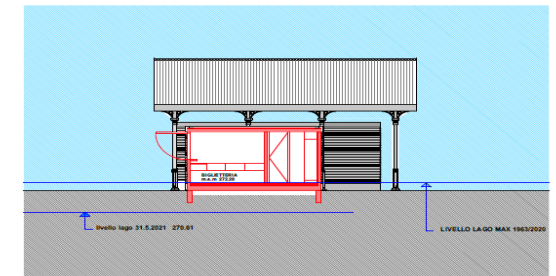
# INFRASTRUCTURE DE RECHARGE



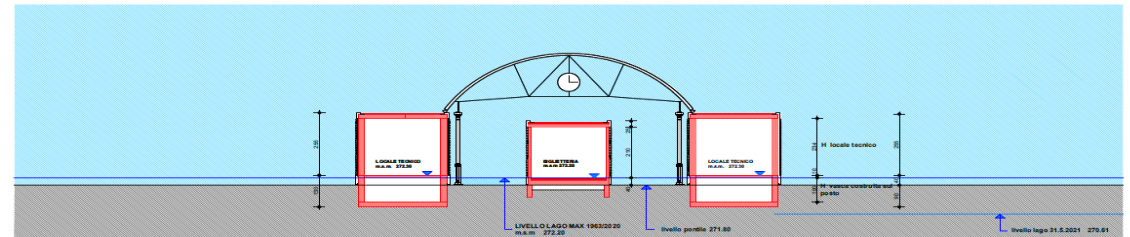
- Le MNE Ceresio pourra être rechargé à 100 % en 20 à 25 minutes.
- L'installation permettra également de recharger des bateaux privés.



SEZIONE B-B



SEZIONE C-C



SEZIONE A-A

- Travaux au débarcadère Lugano Centrale: octobre 2023 – printemps 2024
- Puissance de 1,5 MW





# SÉLECTION D'UN NOUVEAU BATEAU



## CANDELA P12

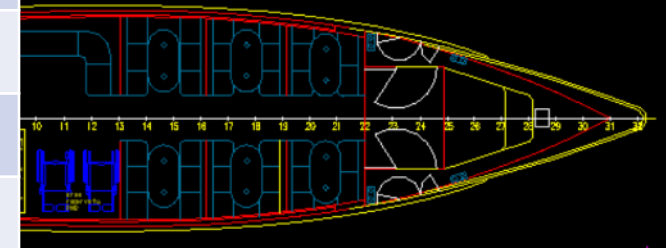
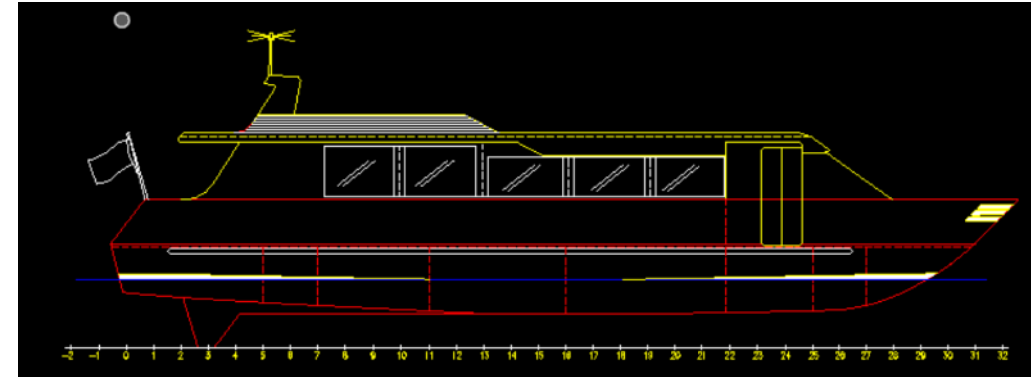


### *Principales caractéristiques*

Longueur totale	12 m
Largeur totale	4,5 m
Franc-bord	0,9 m
Nombre de places	30
Vitesse max.	55,5 km/h
Vitesse de croisière	37 km/h
Capacité des batteries	252 kWh
Autonomie max.	110 km
Recharge rapide	connecteur CC-CC2



# TRANSFORMATION DU MN S. AMBROGIO



## *Principales caractéristiques*

Année de construction	1987
Longeur totale	17,20 m
Largeur totale	4,30 m
Nombre de places	60+1 pilote
Puissance	169 kW
Vitesse max.	18 km/h



# TRANSFORMATION DU MN S. AMBROGIO



## 1- ÉTUDE DE FAISABILITÉ

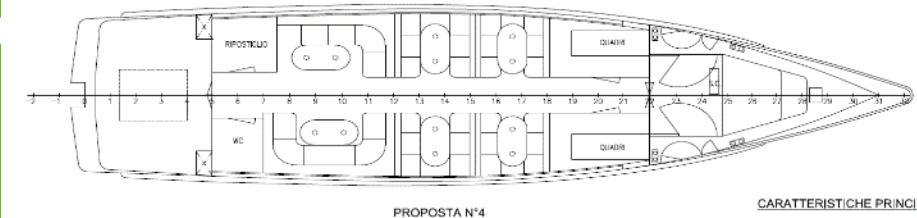
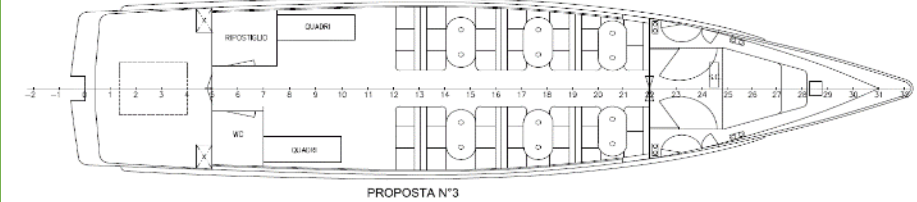
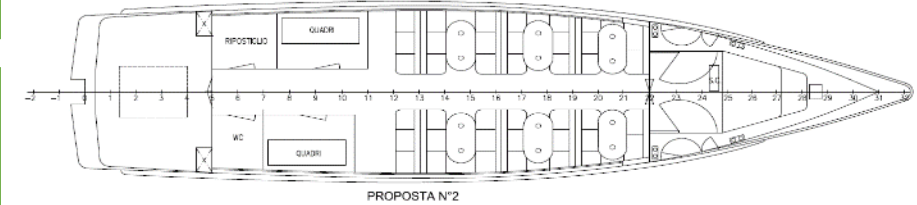
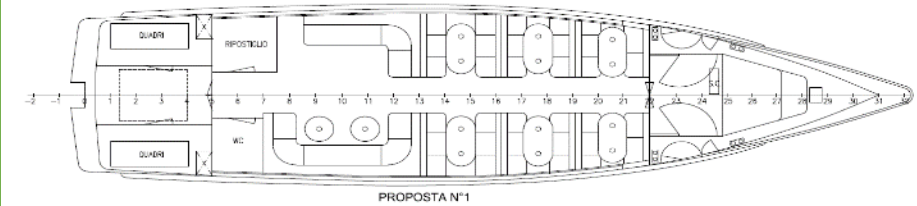
La condition la plus onéreuse possible (en termes de poids et de dimensions) a été étudiée et les critères établis par la réglementation en termes de franc-bord et de stabilité ont été vérifiés.

## 2- PROFIL DE LA MISSION

Des études sont menées sur les prévisions de puissance afin d'optimiser les investissements et de créer une configuration «sur mesure» sur le profil de mission de l'unité, garantissant la capacité en passagers, l'autonomie et la vitesse de fonctionnement nécessaires.

## 3- PROCHAINE ÉTAPE

Soumettre les documents nécessaires à l'approbation du plan à l'OFT.



### CARATTERISTICHE PRINCIPALI:

LUNGHEZZA FUORI TUTTO	17,35 m
LARGHEZZA ALLA 11. PORTA D'ACCIAIO	10,40 m
LARGHEZZA MAX FUORI CASSEREA	4,15 m





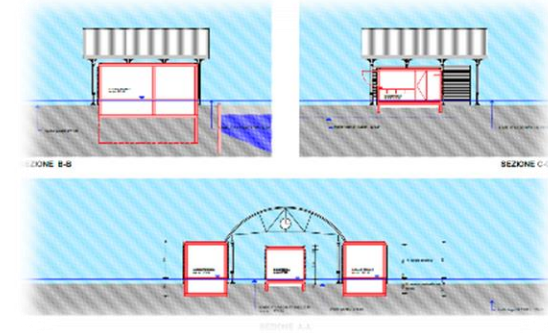
# Grazie



1 - la transition écologique doit être guidée par un véritable projet de transformation d'entreprise

2 - concerne tous les métiers et la formation fait partie intégrante du projet

3 - elle doit être planifiée dans le temps et fondée sur les évolutions technologiques





**Ralf Hofer**

**Responsable du secteur Technique  
de climatisation, acoustique et  
aérodynamique, CFF**



«Le présent document a été traduit automatiquement sans aucune relecture de la part du service de traduction. En cas de doute, la version originale en allemand fait foi.»



SBB CFF FFS

# Le R290, une solution naturelle pour remplacer les frigorigènes synthétiques dans les appareils de climatisation ferroviaires

Ralf Hofer, PP-UHR-FSY-EUE-KT

Soleure, 30.11.2023





# Réglementations sur les fluides frigorigènes

## Réglementations

	Ab 1755	Ab 1929	Ab 1988	Ab 2000	Ab 2015
Sujet	Technische Machbarkeit	Sicherheit • Brennbarkeit • Toxizität	Ozonloch • Chlor (ODP, Ozon- abbaupotenzial)	Erderwärmung • GWP (Global Warming Potential)	Erderwärmung • GWP • unbekannte Risiken
Point fort	Natürliche Kältemittel	FCKW	HFCKW FKW	HFKW Natürliche Kältemittel	HFO Natürliche Kältemittel
Réfrigérant	Äther Schwefelsäure Dichlorethylen CO <sub>2</sub> Ammoniak	R11 R12 Ammoniak	R22 R124 R142b Ammoniak	R134a R404A R410A R32 Ammoniak, CO <sub>2</sub>	R1234ze R1234yf Propan Ammoniak, CO <sub>2</sub>

Procès-verbal de Montréal 1987  
Interdiction des CFC en 1994 CH (Osubst)  
Interdiction des HCFC en 2000  
Interdiction des substances stables dans l'air 2004  
Gaz F Règlement (CE) no 517/2014  
Kigali Amendement 2016  
Nouvel-lancement F-Gas 2023

La technique de réfrigération industrielle commence avec des fluides frigorigènes naturels, comme le NH<sub>3</sub>. Ceux-ci ne sont pas sans danger, à quelques exceptions près. Certains sont explosifs, d'autres sont toxiques. Le souhait d'une plus grande sécurité a donné naissance, à partir de 1929 environ, aux fluides frigorigènes synthétiques (CFC, HCFC, HFC), qui sont moins dangereux à manipuler. Ce n'est que plus tard que l'on s'est rendu compte qu'ils constituaient une menace pour l'environnement.



Les fluides frigorigènes contenant du chlore endommagent la couche d'ozone. C'est pourquoi les fluides frigorigènes qui appauvrissent la couche d'ozone (CFC, HCFC) sont interdits depuis 1994/2000.

Aux CFF, les installations frigorifiques de climatisation de toutes les voitures de voyageurs GEIE/EC, des Re450 et des Re460 ont été modifiées entre 1995 et 2009 pour passer du réfrigérant R12 au R134a grâce à un procédé spécial de refit comprenant plusieurs opérations de rinçage.



# Réglementations sur les fluides frigorigènes (situation actuelle)

Les gaz à effet de serre fluorés (HFC/PFC) ont, selon les substances, un impact très important sur le climat, l'effet étant 100 à 24 000 fois plus important que pour le dioxyde de carbone (échelle de comparaison).

## Die wichtigsten Treibhausgase

Treibhausgase sind Gase in der Erdatmosphäre, die den Wärmehaushalt der Erde verändern. Zu den wichtigsten zählen:

Kohlendioxid	Methan	Distickstoff-oxid	Fluorierte Treibhausgase
$\text{CO}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{N}_2\text{O}$	HFKW, FKW, $\text{SF}_6$ , $\text{NF}_3$
Quellen:			
Verbrennung fossiler Brennstoffe, Industrie, Abholzung	Reisanbau, Viehhaltung, Mülldeponien, Klärwerke, Verbrennen von Biomasse	Künstliche Düngemittel, Viehhaltung, Verbrennen fossiler Brennstoffe	nicht natürlich; Treibgase, Kühl- und Löschmittel oder in Schallschutzfenstern

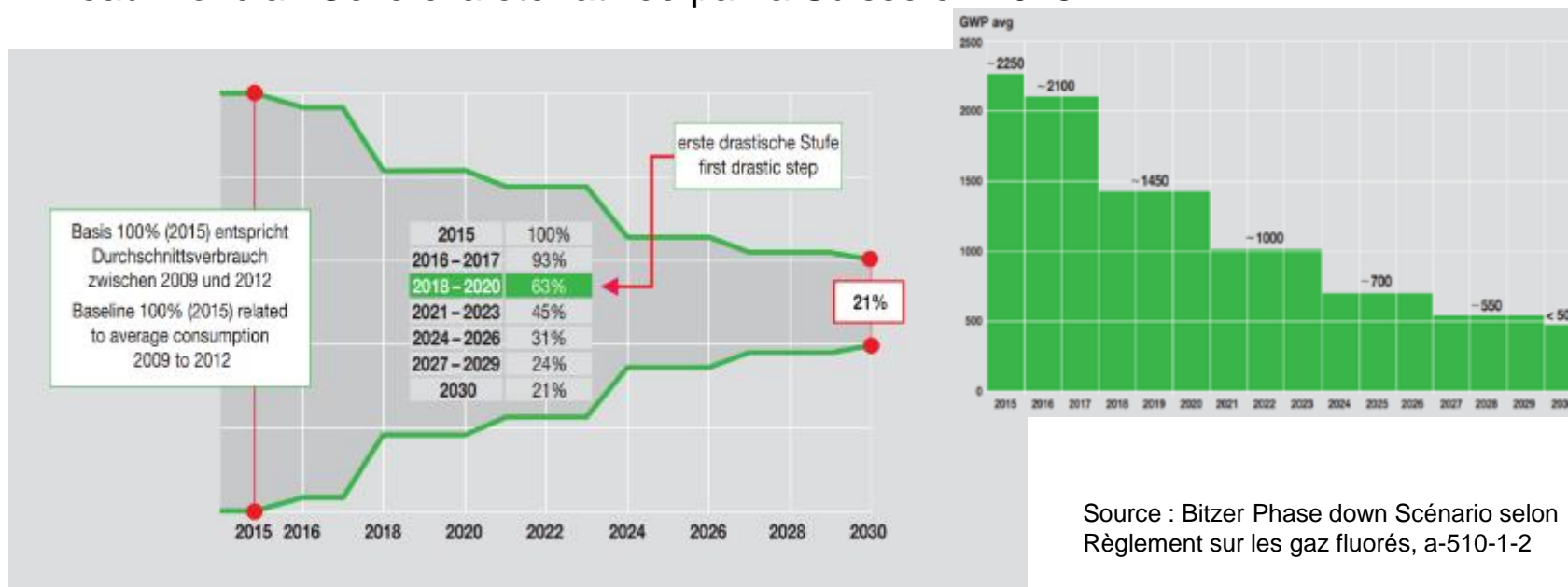
## Der Treibhauseffekt



Quelle: dpa, UBA, WWF, WMO

t-online.de

Le **règlement européen sur les gaz fluorés (CE) n° 517/2014**, qui est également suivi par l'**ORRChim (RS 814.81)**, prévoit une réduction progressive de 79 % de la consommation d'hydrocarbures fluorés (HFC) d'ici 2030. En **2016**, la **conférence des Nations unies de Kigali** a décidé de l'élimination à long terme des HFC/PFC au niveau mondial. Celle-ci a été ratifiée par la Suisse en 2018.



Source : Bitzer Phase down Scénario selon Règlement sur les gaz fluorés, a-510-1-2

La disponibilité du R134a, principalement utilisé par CFF Voyageurs, est garantie jusqu'à présent. Coûts en hausse depuis la 1re vague de réduction



# Nouveau règlement sur les gaz fluorés

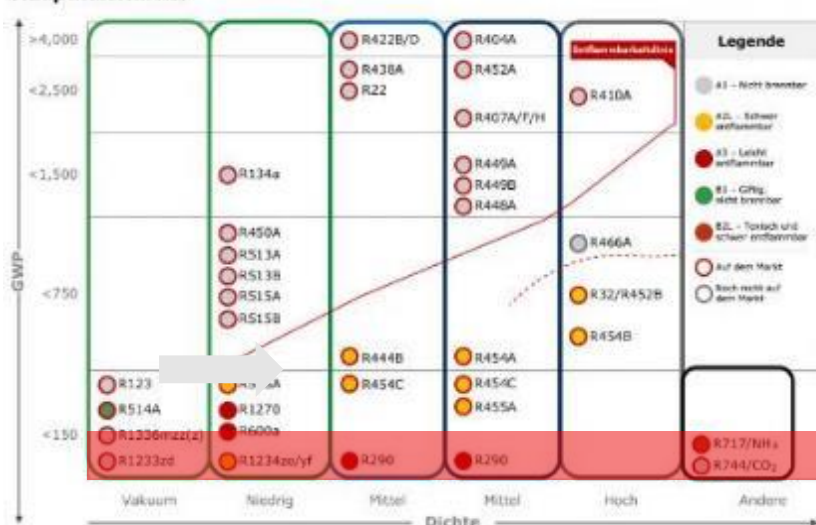
## Accord de trilogue 10/23



Le Parlement et le Conseil de l'UE se sont mis d'accord sur une proposition de compromis concernant le règlement sur les gaz fluorés, qui se présente comme suit :

- **2050 Accélération de la réduction progressive** des quantités de gaz à effet de serre fluorés disponibles **jusqu'à un niveau net de zéro**.
- **2027** Interdiction des nouveaux systèmes de réfrigération fixes, monoblocs/climatiseurs avec des fluides frigorigènes fluorés **GWP>150**, dont le R134a, et **interdiction complète des gaz fluorés** pour ces produits à partir de **2032**
- **2027 Interdiction des pompes à chaleur** et climatiseurs **split air-eau** avec gaz F **GWP>150**, des pompes à chaleur split air-air à partir de **2029** et **interdiction complète des gaz F** à partir de **2035**.
- **2030** Interdiction des installations frigorifiques fixes (à l'exception des chillers) Gaz fluorés **GWP>150**
- **2032** Interdiction de service et d'entretien pour les installations frigorifiques stationnaires **GWP>750**, sauf pour les fluides frigorigènes recyclés.
- **2035 La production de gaz fluorés est désormais réduite jusqu'à 15%**, l'offre continue de baisser.
- **§10c : Les systèmes de climatisation et de réfrigération dans les moyens de transport** ont des taux de fuite particulièrement élevés en raison des vibrations qui se produisent pendant le transport. Le décret oblige les exploitants à effectuer des **contrôles de fuites**/installer des systèmes de détection de fuites et de récupération.
- **§6a Référence à la réglementation PFAS** qui sera adoptée en 2023. Les **HFOS (hydrofluorooléfines)** appartiennent au **groupe de substances des PFAS**. Leur toxicité pour l'environnement et l'homme est avérée. Certains PFAS ne peuvent être éliminés par les méthodes traditionnelles. C'est pourquoi les fournisseurs d'eau demandent depuis des années l'interdiction de certains PFAS.
- **§32 A partir de 2028, l'importation et l'exportation** de HFC et de produits et d'équipements contenant des HFC **sont interdites**.

Hauptkältemittel



Réfrigérants disponibles sur le marché après **2027 avec un GWP<150**



# Situation des fluides frigorigènes en Suisse

**L'ORRChim (RS 841.81)**, annexe **2.10 / édition du 1.6.23**, définit les substances et groupes de substances qui sont interdits ou autorisés de manière limitée comme fluides frigorigènes en raison de leur effet sur la couche d'ozone et le climat (GWP).

- Détails de la situation actuelle voir [fluides frigorigènes \(admin.ch\)](https://www.admin.ch/fluidesfrigorigenes)
- Les systèmes de climatisation dans les véhicules ferroviaires n'ont pas été explicitement mentionnés jusqu'à présent.
- **Depuis 2020, l'interdiction des réfrigérants avec un GWP  $\geq 2500$  est déjà en vigueur pour les nouvelles installations** (quantité de remplissage  $\geq 40$  t d'équivalent CO<sub>2</sub>) et **à partir de 2030, l'interdiction de recharger** avec des réfrigérants recyclés.

La consultation sur la révision de l'ORRChim a été menée pendant l'été 2023.

Dans la **révision de l'ORRChim** actuellement en consultation, **qui entrera probablement en vigueur le 1.5.2024**, les "**climatiseurs utilisés dans les véhicules à moteur, les véhicules ferroviaires et les bateaux**" seront inclus pour la première fois au point d. du chapitre 2.1 Interdictions.

Les installations frigorifiques avec condenseurs à air d'une puissance  $>50$  kW et utilisant des fluides frigorigènes avec un **GWP  $> 750$**  **seraient** concernées par les interdictions.

**Dans le chapitre 2.2 Exceptions**, des dérogations sont également possibles lorsque :

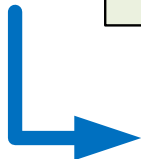
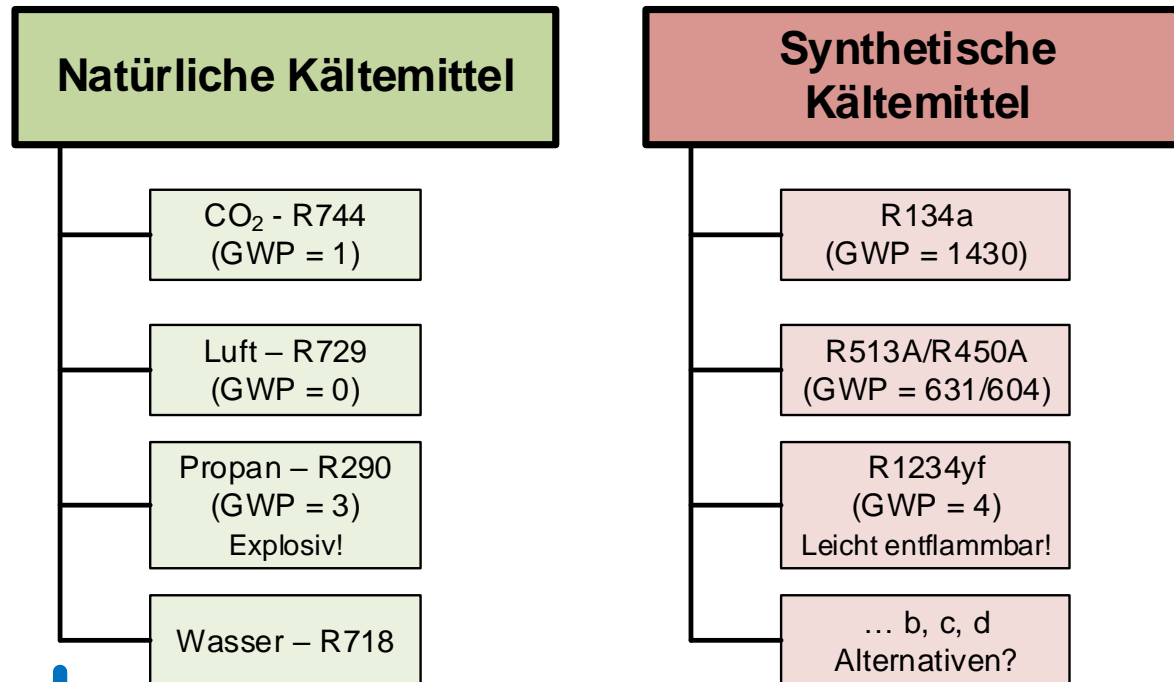
- a. selon l'état de la technique, il n'existe pas de substitut ;
- b. si le fluide frigorigène présente un potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone inférieur ou égal à 0,0005, et
- c. les mesures disponibles selon l'état de la technique pour éviter des émissions du fluide frigorigène.

**Selon l'OFEV, c'est la législation européenne qui est déterminante pour le projet d'ORRChim.** Etant donné que des développements ont encore eu lieu au sein de l'UE (Nouvellierung), la modification de l'ordonnance sera différente de la version qui a été mise en consultation. Des consultations sont en cours avec la branche.



# Conséquences de la réglementation sur les fluides frigorigènes

Quo vadis – Kältemittel?



Welche Technologie ist die richtige für die Zukunft?

Alternatives aux fluides frigorigènes (classes de danger)

- A1 Kältemittel (Synthetisch: Gemische R450A, R513A, R513B,  
Natürlich: R744-CO<sub>2</sub>, R729-Luft)

- A2L Kältemittel (R1234yf, R1234ze)
- A2 Kältemittel (R152a)
- A3 Kältemittel (R290a - Propan, R1270 - Propen)

**Brennbar**

	ungiftig	giftig	→ Kennbuchstabe = Toxizität	A wenig giftig
			→ Kennzahl = Brennbarkeit	1 nicht brennbar,
unbrennbar	A1	B1	Klassifizierung nach ISO 817	2L medium entflammbar,
kaum brennbar	A2L	B2L		2 entflammbar,
brennbar	A2	B2		3 explosiv
explosiv	A3	B3		

Classification des fluides frigorigènes selon la norme ISO 817





# Comparaison des alternatives de fluides frigorigènes

(sélection des principaux fluides frigorigènes pour le secteur de la climatisation ferroviaire)

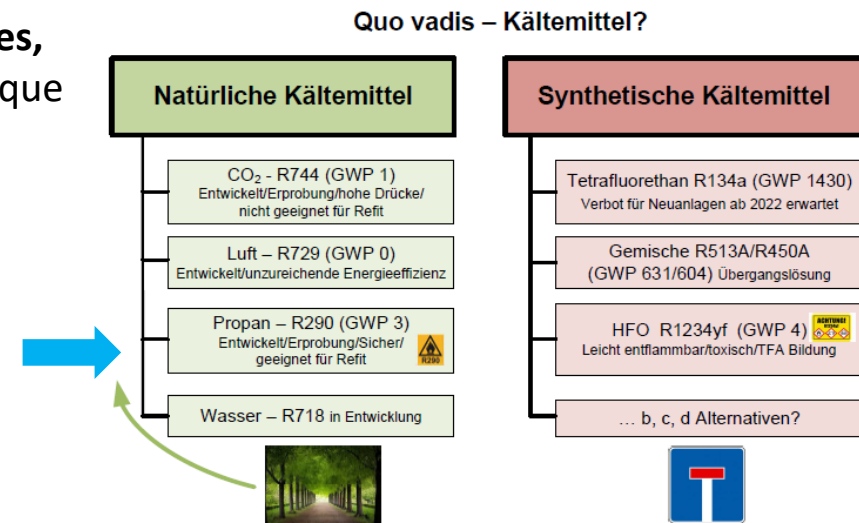
Merkmale	Ökologisch	Thermisch	Chemisch	Physiologisch
Ideale Eigenschaften	Niedriger GWP-Wert (<10) ODP = 0	Hohe Kälteleistung Guter Wärmeübergang Niedrige Drucklage	Zustandsstabil im Kältekreislauf keine Gefährdung bei Leckage keine Zersetzung	Keine Toxizität, keine Gesundheitsgefahr
Kältemittel				
R-134a (HFKW)	GWP = 1430 ODP = 0		Stabil HF Bildung an Heizelementen	MAK=1000
R-1234yf (HFO)	GWP < 5 ODP = 0	Vergleichbar zu R-134a	Langzeitstabilität in Prüfung bei Temperatur > 250°C HF-Bildung TFA-Bildung bei Zerfall in Luft Brennbar	MAK = 200
R-290 (HC)	GWP = 3 ODP = 0	Vergleichbar zu R-134a Wärmepumpe erweitert bis -20°C	Stabil keine hochtoxischen Stoffe bei Reaktion (H <sub>2</sub> O und CO <sub>2</sub> ) Brennbar	MAK=1000
R-729 (Luft)	GWP = 0 ODP = 0	Geringe Wärmekapazität niedrige Leistungszahl Temperaturgleit	Gesundheitlich unbedenklich	
R-744 (CO <sub>2</sub> )	GWP = 1 ODP = 0	Max. Druckniveau von ca. 140 bar	Stabil Nicht brennbar	MAK=5000

Source : Faiveley-Wabtec

Le fluide frigorigène synthétique R1234yf (HFO-hydrofluoroléfine), prescrit à l'industrie automobile en 2011, est détecté en concentrations de plus en plus élevées dans l'atmosphère (EMPA 2018). Il est extrêmement soluble dans l'eau, toxique pour les algues et contient de l'acide trifluoroacétique (TFA) difficilement dégradable, qui parvient dans les eaux par le biais des précipitations, comme le prouvent des études en Allemagne (UBA) ainsi qu'en Suisse (EMPA). Le TFA n'est pratiquement plus dégradable dans la nature (persistant).

# Projets d'acquisition de véhicules

- Depuis 2018 déjà, les CFF ont **comparé, sur la base de considérations économiques, les fluides frigorigènes** alternatifs possibles, tels que le CO<sub>2</sub>, l'air, le propane ainsi que les fluides frigorigènes synthétiques, tels que les HFO et les mélanges.
  - En raison du faible PRG du R290 (3), ainsi que d'autres avantages, tels que
    - la faible masse de remplissage de réfrigérant,
    - une puissance frigorifique volumétrique spécifique élevée,
    - des applications de PAC possibles avec un COP élevé et une large plage de températures d'utilisation,
    - des coûts maîtrisables pour les fluides frigorigènes, etc.
- les CFF ont donc décidé d'**exiger des réfrigérants naturels avec un GWP <10 dans le** cadre du projet d'acquisition de trains régionaux à un étage (FLIRT Evo actuels).
- Suite à l'évaluation des offres, tous les fournisseurs de l'époque ont proposé des appareils de réfrigération/climatisation R290.
  - Les conditions étaient ainsi réunies pour introduire le R290 comme fluide frigorigène pour les nouveaux véhicules. La décision ainsi prise sera à l'avenir le fluide frigorigène de base des CFF, car il n'est pas souhaitable d'utiliser des fluides frigorigènes hétérogènes sur les flottes de véhicules.
  - Cette tendance est désormais suivie par d'autres entreprises de transport ferroviaire comme la DB et les ÖBB.



**STADLER**



Flirt Evo constructeur de véhicules Stadler, fournisseur de climatiseurs MERAK, KKG's FAI effectué

# Développement de prototype Refit d'un FLIRT RABe523 KKG sur R290

En se fondant sur les futures interdictions / pénuries de fluides frigorigènes, la question suivante a été posée: pourquoi ne pas rénover un climatiseur existant ?

**Au moyen d'un cahier des charges** (120 exigences), les conditions marginales suivantes ont notamment été définies :

- **Interfaces identiques** et performances analogiques (froid et volumes d'air)
- Logiciel modes de fonctionnement et fonctions analogiques, éventuellement adaptations DDS
- **Absence de rétroaction** en ce qui concerne l'alimentation en énergie ainsi que le comportement acoustique et vibratoire analogique
- **Des directives définies pour la réalisation de l'installation frigorifique**
- **Analyses de la sécurité/des risques et des sources d'inflammation**, documentation d'homologation dans le processus de développement
- **Test de type** du climatiseur refit ainsi que FAI
- **Formation** des responsables de systèmes et du personnel de maintenance et d'atelier
- **Gestion complète des preuves et documentation**

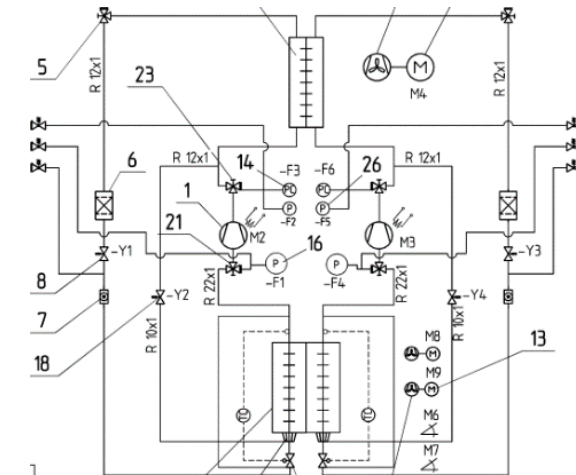


Fig. : Schéma du circuit frigorifique R134a

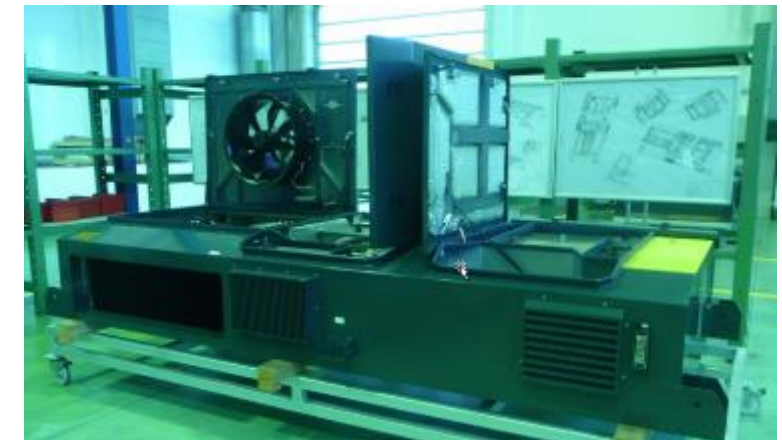


Illustration : KKG Flirt de la série CFF-art. n° : 723-56-617



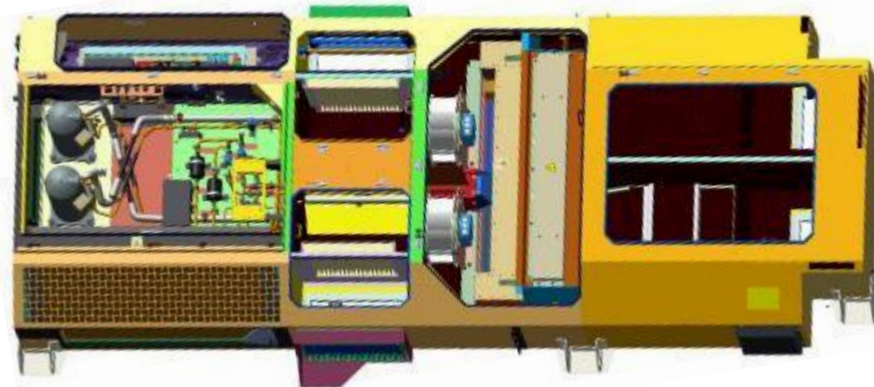
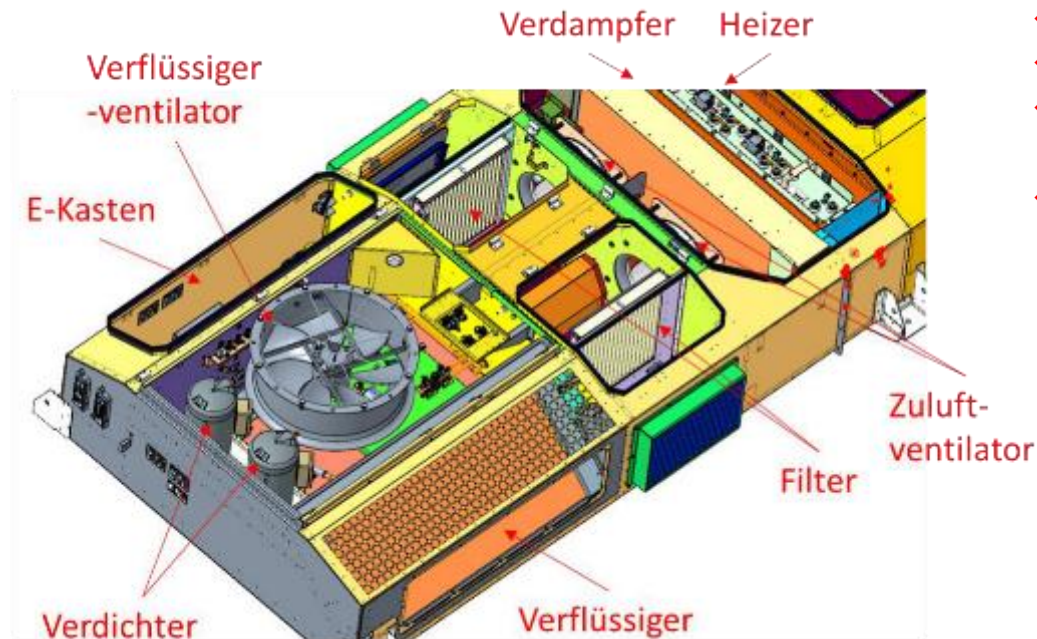
# Informations sur la version R290 - Climatiseurs

- a. **Le R290 est classé comme explosif, facilement inflammable, avec une faible toxicité - groupe de réfrigérants A3.**  
Température d'auto-inflammation 470°C, limite inférieure d'explosivité pour le R290 : 1.7% en volume ou 38 mg/m<sup>3</sup> dans l'air
- b. Les installations frigorifiques sont réalisées conformément à la norme SN EN 378-1 / TRGS 722 "**durablement étanche sur le plan technique**". (SUVA 2153 Prévention des explosions) - Termes selon TRGS 722  
**...parties de l'installation techniquement étanches**
  - il faut s'attendre à de rares rejets sur des parties de l'installation
  - rejets liés à l'exploitation => mesures nécessaires (p. ex. ventilation, zones Ex)**...des parties d'installation techniquement étanches à long terme**
  - aucun rejet n'est à prévoir sur des parties de l'installation
  - pas de rejets liés à l'exploitation => pas de mesures nécessaires
- c. **Masse de remplissage limitée en fluide frigorigène** par circuit frigorifique, afin de ne pas tomber sous le coup des prescriptions de la SUVA 66139 Exploitation sûre d'installations frigorifiques et de pompes à chaleur ainsi que de la directive CFST 6517 Gaz liquide.
- d. Contrôle d'étanchéité du circuit frigorifique selon SN EN 378-2 - au moins 1 x par an, comme déjà exigé par l'ORRChim avec un détecteur de fuites, devrait être maintenu - recommandation
- e. Les travaux sur les LCC R290 en cas de concentration de gaz >25% LIE (LFL) à l'extérieur et à l'intérieur des climatiseurs doivent être immédiatement arrêtés conformément à la norme EN378-3. Détection avec détecteur de gaz / appareils de recherche de fuites pour R290



Marquage EN ISO 7010-W021

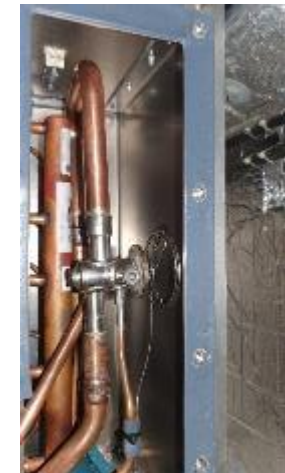
# Présentation des principaux composants



- ❖ Presque tous les composants du circuit de réfrigération ont été remplacés
- ❖ Le tableau électrique a été isolé de la partie froide
- ❖ L'évaporateur est désormais équipé de tubes en cuivre / d'ailettes en aluminium
- ❖ Chambres des parties contenant du réfrigérant vers le côté confort

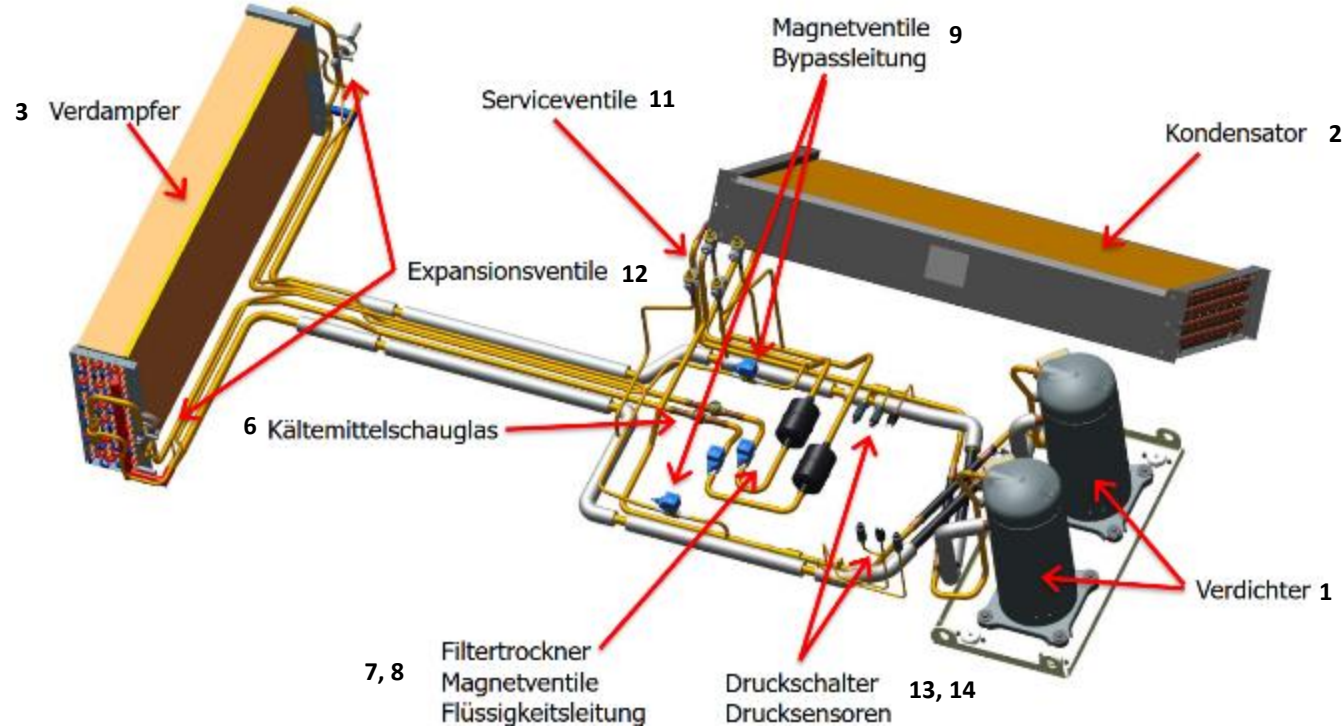


Dichtebene kältemittelführender Bereich des Verdampfers zum Gehäuse



Source : FTL / Wabtec

# Circuit frigorifique avec R290



- 1 compresseur
- 2 condenseurs
- 3 évaporateurs
- 4 ventilateurs de condenseur
- 5 Ventilateur d'alimentation
- 6 Voyant du fluide frigorigène
- 7 Filtre déshydrateur
- 8 Electrovanne conduite de liquide

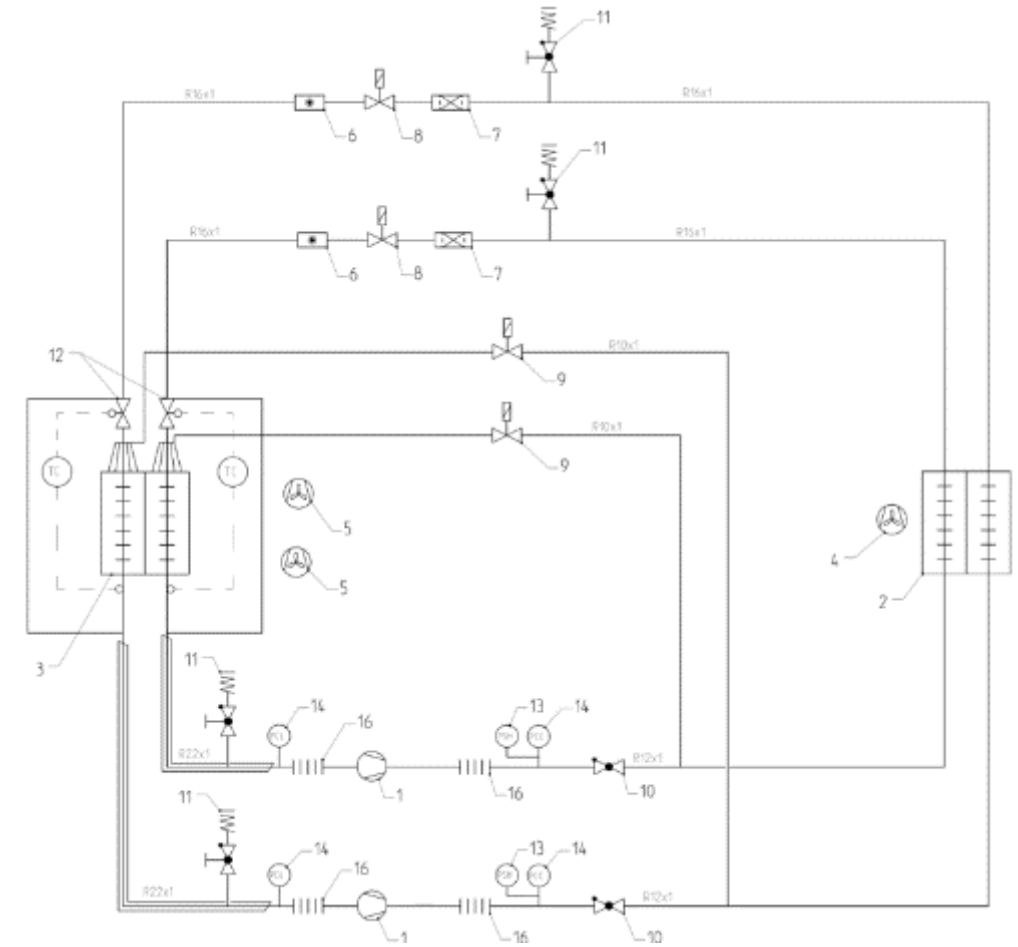
- 9 Électrovanne Conduite de dérivation
- 10 Clapet anti-retour
- 11 Soupape de service
- 12 Vanne d'expansion
- 13 Interrupteur à pression
- 14 Capteur de pression
- 16 Amortisseurs de vibrations tubulaires



Électrovanne entièrement hermétique



Vanne de service (robinet d'arrêt à boisseau sphérique avec insert de vanne Schrader supplémentaire)



Source : Faiveley-Wabtec



# VVA & disposition des conduites de frigorigène



VVA -Partie de l'appareil

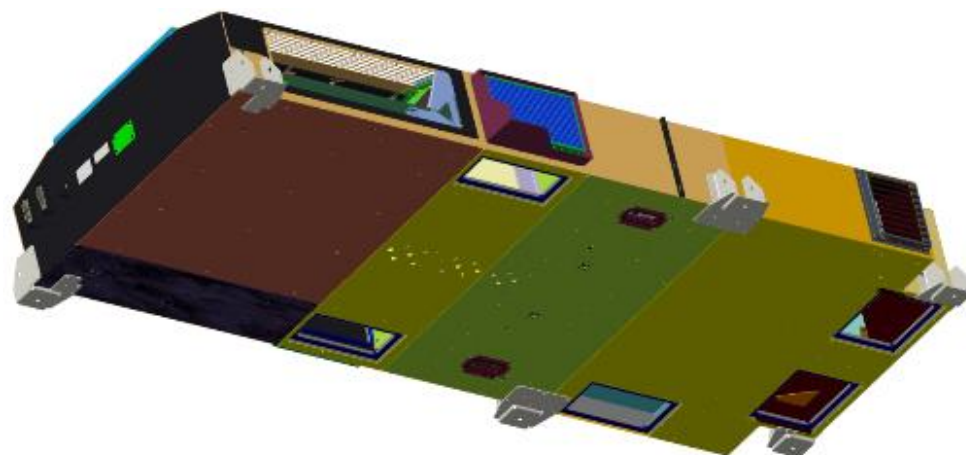


Vannes Mg. / Filtres déshydrateurs



Zone de service

Drainage / dégazage sous le climatiseur



Passage de tuyaux sans raccords à souder

Source : FTL / Wabtec

# Données techniques du climatiseur R134a / R290



Messgröße			Nominaler Auslegungspunkt 35°C Kühlen 100% - 2 Verdichter; 0 Bypass				
			Soll	Ist S67T		Ist F39C	
				Kreis 1	Kreis 2	Kreis 1	Kreis 2
Test-Nr. Typtest:			---	---		5.3.1(1)	
Luftdruck	pA	mbar	---	1004		997	
Umgebungstemperatur	t <sub>CAir1</sub>	°C	35,0	35,0		35,5	
Zuluftvolumenstrom gesamt	V <sub>SUP</sub>	m³/h	2800	2791		2819	
Lufttemperatur Eintritt Gerät	t <sub>MIA</sub>	°C	30,0	30,1		30,3	
Luftfeuchte Eintritt Gerät	φ <sub>MIA</sub>	%	53,0	52,8		53,0	
Lufttemperatur Austritt Gerät (Zuluft)	t <sub>SUP</sub>	°C	---	15,4		14,9	
Luftfeuchte Austritt Gerät (Zuluft)	φ <sub>SUP</sub>	%	---	90,6		91,3	
Verdampfungsdruck	p <sub>0</sub>	bar rel.	---	3,1	3,1	4,7	4,8
Verdampfungstemperatur	t <sub>0r</sub>	°C	11,0	9,5	10,0	6,3	6,9
Temperatur KM Verdampferaustritt	t <sub>02h</sub>	°C	---	17,7	17,7	14,6	13,5
Überhitzung Verdampferaustritt	Δt <sub>02h</sub>	K	---	8,2	7,7	8,3	6,6
Temperatur KM Verdichtereintritt	t <sub>0h</sub>	°C	---	20,2	20,2	17,9	16,5
Temperatur KM Verdichteraustritt	t <sub>di</sub>	°C	---	79,3	77,1	84,2	82,9
Druck Verdichteraustritt	p <sub>di</sub>	bar rel.	---	13,3	13,7	19,6	19,8
Verflüssigungsdruck	p <sub>cu</sub>	bar rel.	---	12,6	12,8	19,1	19,3
Verflüssigungstemperatur	t <sub>c'</sub>	°C	53,0	51,3	51,8	57,5	58,0
Temperatur KM Verflüssigeraustritt	t <sub>cu</sub>	°C	---	43,1	46,0	51,9	49,9
Unterkühlung Verflüssiger	Δt <sub>cu</sub>	K	---	8,2	5,8	5,5	8,2
Temperatur KM vor Expansionsventil	t <sub>0UTEV</sub>	°C	---	42,2	44,6	49,7	47,3
Kältemittelmassstrom Verdichter	m <sub>R</sub>	kg/min	---	---	---	3,11	3,19
Kälteleistung (kältemittelseitig)	Q <sub>R</sub>	kW	---	---	---	13,7	14,1
Kälteleistung (kältemittelseitig) gesamt	Q <sub>R</sub>	kW	---	---		27,9	
Kälteleistung (luftseitig)	Q <sub>Air</sub>	kW	22,0	24,3		26,3	
Spannung	U	V	400,0	401,9		400,1	
Stromaufnahme Verdichter	I <sub>V</sub>	A	6,5	6,29	6,16	9,12	9,16
Wirkleistung Verdichter	P <sub>W</sub>	kW	---	3,33	3,25	4,95	4,98
Scheinleistung Verdichter	P <sub>S</sub>	kVA	4,5	4,38	4,28	6,32	6,36
Frequenz	f	Hz	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0

## Climatiseur État actuel R134a

- Puissance frigorifique théorique : 22 kW / réelle : 24.3 kW
- Circuits de refroidissement : 2
- Puissance de chauffage : 14 kW
- Masse : 620 kg
- Masse de remplissage R134a : 2 x **4.4 kg**
- Valeur de réglage du pressostat HP marche/arrêt : 16,5/22,5 bar



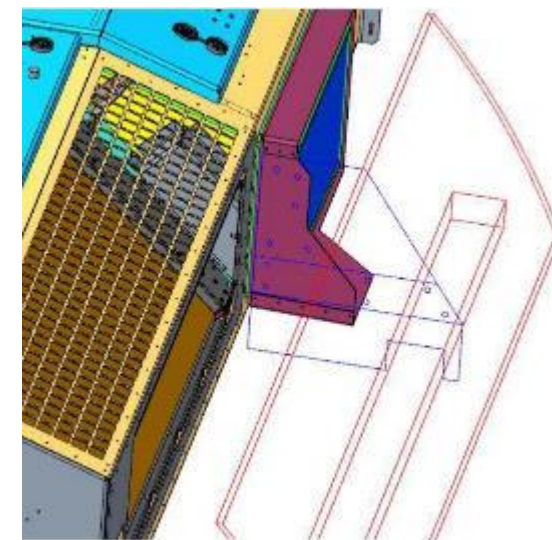
## Climatiseur Refit R290

- Puissance frigorifique théorique : 22 kW / réelle : **26.3 kW**
- Circuits de refroidissement : 2
- Puissance de chauffage : 14 kW
- Masse : **633 kg**
- Masse de remplissage R134a : **2 x 1.08 kg**
- Valeur de réglage du pressostat HP marche/arrêt : 21/28 **bar**





# Essais de fuite pour éviter l'aspiration de réfrigérant à l'entrée d'air extérieur en cas de fuite de réfrigérant



Examens sur le véhicule et dans le laboratoire d'essai

Approche de solution pour éviter les réaspirations

Source : FTL / Wabtec



# Étapes clés du développement de prototypes

#	Étapes importantes	Délai	Fait
1.	Mandat de l'entreprise par CFF SA	29.07.2022	✓
2.	Livraison des deux climatiseurs compacts à la société	08.08.2022	✓
3.	Mise à jour du plan de projet de la phase d'offre	08.08.2022	✓
4.	Revue de conception	03.02.2023	✓
5.	Gel du design	08.03.2023	✓
6.	Essai de prototype initial chez l'entreprise	19./20.09.2023	✓
8.	Formation des responsables du système et de la maintenance	30.10.2023	✓
7.	Essai et première mise en service du prototype sur le véhicule	30.10.-2.12. 2023	✓
8.	1re phase d'exploitation	3.11.-17.11.2023	✓
9.	Test de la chambre climatique à des charges et des températures ambiantes élevées	17.11.-01.12.2023	
10.	Utilisation en milieu ordinaire	1.12.23-30.09.24	
10.	Constatation/démontage d'essai du climatiseur prototype à l'usine d'Olten. Détails sur le	30.09.2024 jusqu'au 28.02.2025	
11.	Remise de la documentation finale dans toutes les variantes linguistiques (D, F, I)	30.09.2024 jusqu'au 28.02.2025	

# La sécurité dans la manipulation des climatiseurs R29... Scénarios



## Exploitation

## Usines de véhicules (SA, usines)

## Stockage

## Usines de composants (atelier spécialisé)

**Etat sûr :** installation frigorifique techniquement étanche en permanence (SN EN 378-1 / TRGS 722 / SUVA 2153)

### Modes de fonctionnement

- Véhicules - fonctionnement commercial / modes de stationnement / transport / modes de lavage / nettoyage / entretien
- EAO (diagnostic ?)

### Diagnostic de l'entreprise

- Pression de repos Surveillance/Alarme
- Essai de détermination de la masse de remplissage
- dans des conditions stables (p. ex. avant Fzg-IBN ?)

### Avarie / événement / incident

- Précautions d'emploi

### Maintenance

- Préventif (T-/MR)
- Curatif (K)
- Correctif

### Diagnostic de l'installation de service

- Surveillance de la pression au repos (jour/nuit) - Problème : évaluation nécessaire sur plusieurs jours
- Indicateurs

### Message DDS / Événements

- Identification HVAC en cas de fuite / Mesure libre
- Démontage (état ?)
- Concepts d'urgence
- Installation / volume de la pièce

### Lieu de stockage

- Installation de service
- Magasin central
- Fabrication de climatiseurs

### État du stock

- D- Entrepôt (état : vide, partiellement rempli, rempli)
- A- Palier (rempli)
- De l'entrepôt EB (nouveau)

## Transport

- Interne SA et/ou usine de véhicules
- Externe

### Activités avec ouverture du circuit frigorifique

- Dépannage (marquage KKG)
- Révisions (MR) avec remplacement de composants
- Adaptation de l'installation/de l'infrastructure nécessaire

### Possible. Dangers Sources d'inflammation :

- LFL (LIE) = 38 gr/m<sup>3</sup>
- Critique à 25% max. = <10 gr/m<sup>3</sup>
- MAIN - charge statique Chargement
- 470 °C Point d'inflammation
- Électricité / Étincelles / Tonneaux

## Formation (SN EN 13313) - Informations / Concepts d'urgence

**État incertain :** défaut, avarie (fuite du circuit frigorifique d'une ampleur indéterminée)

# R290 Exigences en matière de maintenance

## Acquisition d'outils et d'accessoires adaptés au propane

- Le propane (R290) appartient au groupe de sécurité A3 en tant que réfrigérant inflammable, ce qui nécessite l'achat d'outils et de moyens supplémentaires.
- Outils nécessaires - des appareils comparables sont également utilisés pour la maintenance du R134a
  - Détecteurs de propane mobiles comme équipement de protection individuelle, par ex. Dräger X-am® 2500 / 5000
  - Détecteurs de fuites avec fuites de contrôle, p. ex. détecteur de fuites Bosch CS LD 1.0, A1,A2L,A3 1,000 575,36 1 575,35 pour KM, mélanges, KWs, gaz de formation, NH<sub>3</sub>
  - Appareils d'aspiration, par ex. appareil d'aspiration Bosch RG 4.0A 1 cylindre
  - Pompes à vide, par ex. pompe à vide RS3D-EX pour propane
  - Bouteilles de recyclage de fluides frigorigènes
  - Aides au montage (analogiques, numériques)
  - Appareil de remplissage, Vulkan Rockall HC





Merci de votre attention



# Informations sur l'après-midi

**12h40**

**Apéritif dînatoire**

**14h00**

**Atelier N° 1**

**Ateliers**

Le photovoltaïque dans les TP – ambitions et réalité

Marcel Reinhard et David Knechtli, CFF

**Salle**

Plénium

**Atelier N° 2**

Chantiers sans émissions

Sarah Weber, CFF et Angèle Zero, SOB

3<sup>e</sup> étage

**Atelier N° 3**

Confort thermique dans les transports publics

Johannes Estermann, CFF et Christine Schulz-Dübi, RBS

3<sup>e</sup> étage

**Atelier N° 4**

Batteries lithium-ion – conditions-cadres et sécurité

Steffen Wienands, CFF

3<sup>e</sup> étage



**Pause de midi jusqu'à  
13h55**

**Début des ateliers à 14h00**



# Récapitulation des ateliers

Marcel Reinhard et David Knechtli, CFF  
Sarah Weber, CFF, et Angèle Zero, SOB  
Johannes Estermann, CFF, et Christine Schulz-Dübi, RBS  
Steffen Wienands, CFF



# **Bilan de la manifestation et perspectives**

# **Apéritif d'anniversaire**

**Un grand merci et  
un bon retour!**