

# Étude efficacité énergétique m1

OFT

Université de Bâle

OPDF, MRSF

- Quoi: proposer des axes de réduction de la consommation électrique
- Où: matériel roulant m1
- Qui:
  - OFT
  - Université de Bâle
  - tl (OPDF, MRSF)
- Quand: de 2018 à 2022
- Combien: budget total de 442 007 francs





# Présentation des tl

Offre et demande de transport (2021):

- 48 lignes de bus
- 2 lignes de métro (m1 et m2)
- 1 ligne de train (LEB)
- 96,1 millions de voyageurs
- 203 millions de personnes-kilomètres
- 238 km de lignes exploitées
- 1734 employés



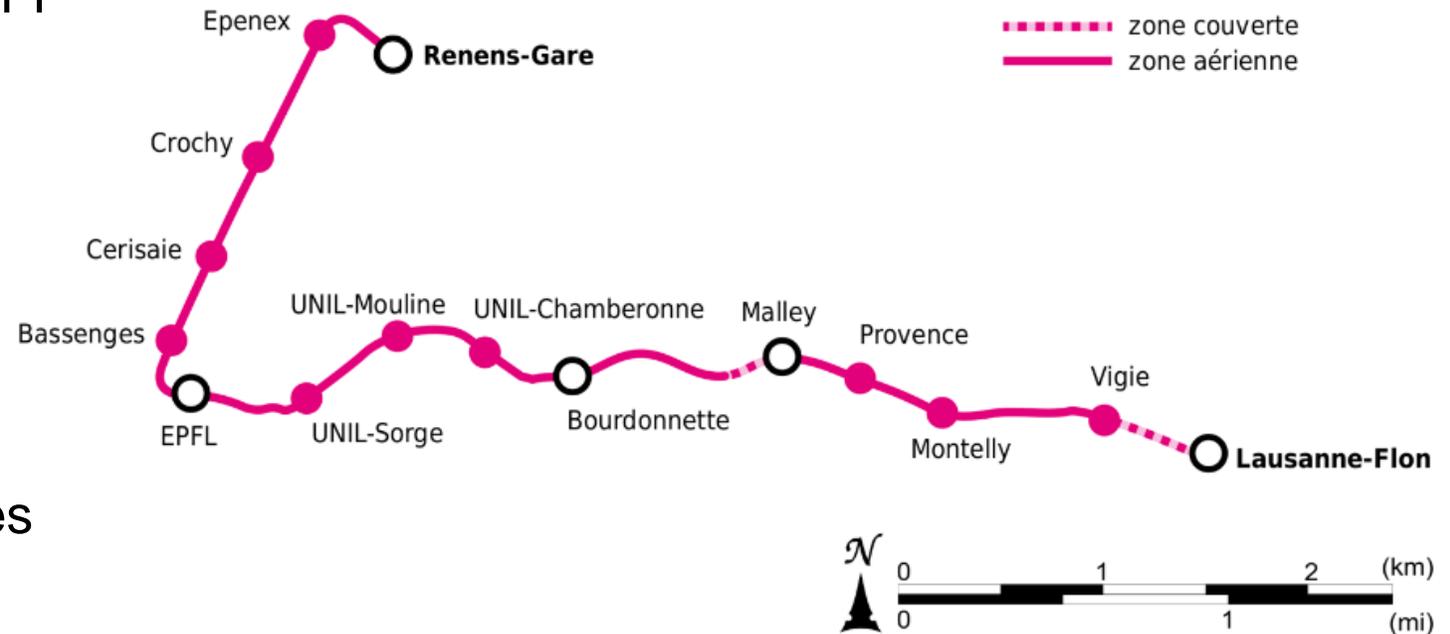
**t1 – Horizon 2026**

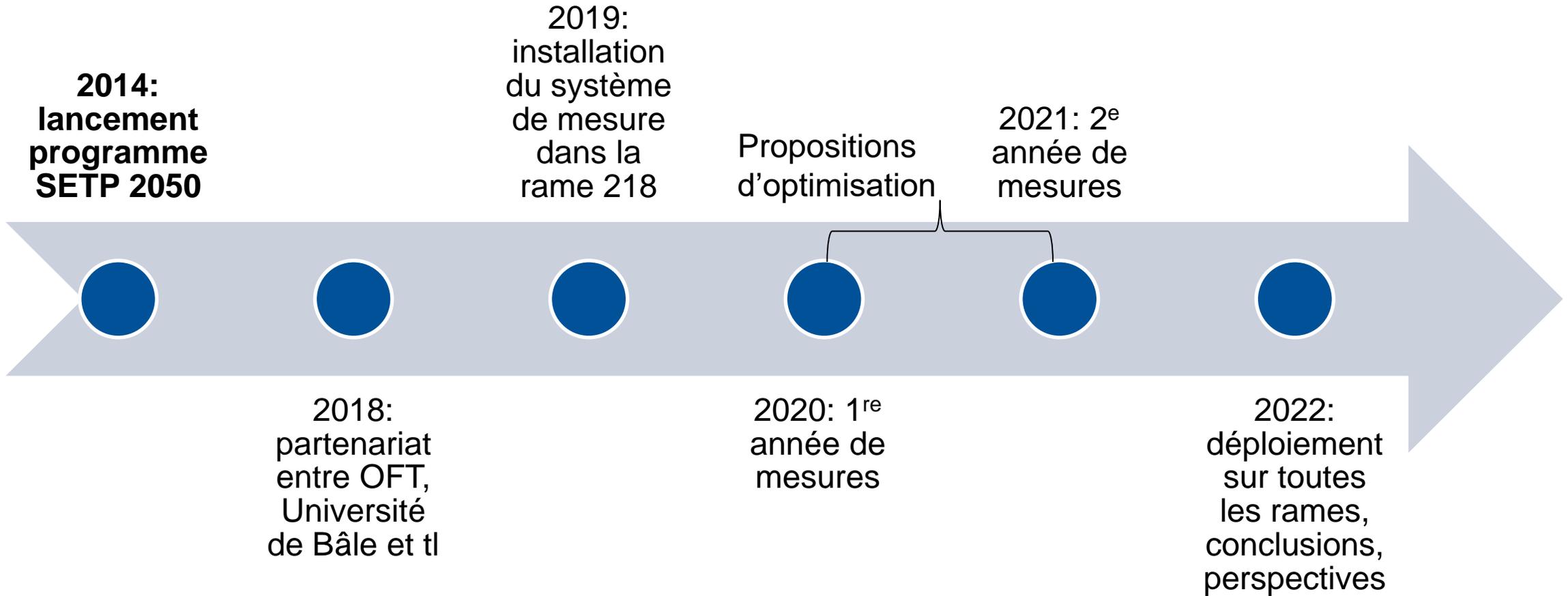


**m3 – Horizon 2031**

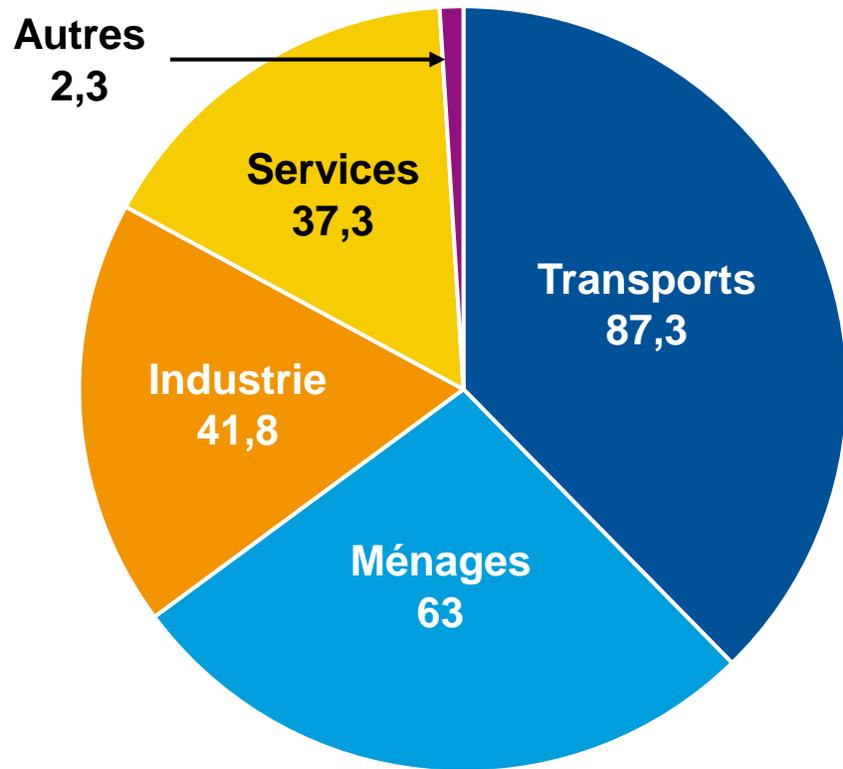
## Offre et demande de transport (2021):

- 7,8 km en voie unique, écartement CFF
- 15 stations
- Flotte de 22 rames TSOL
- Cadence de 5 minutes en heures de pointe, 7,5 minutes en heures creuses
- Climatisation uniquement en cabines
- Freinage électrique (récupération et rhéostat), pneumatique (pincés) et magnétique

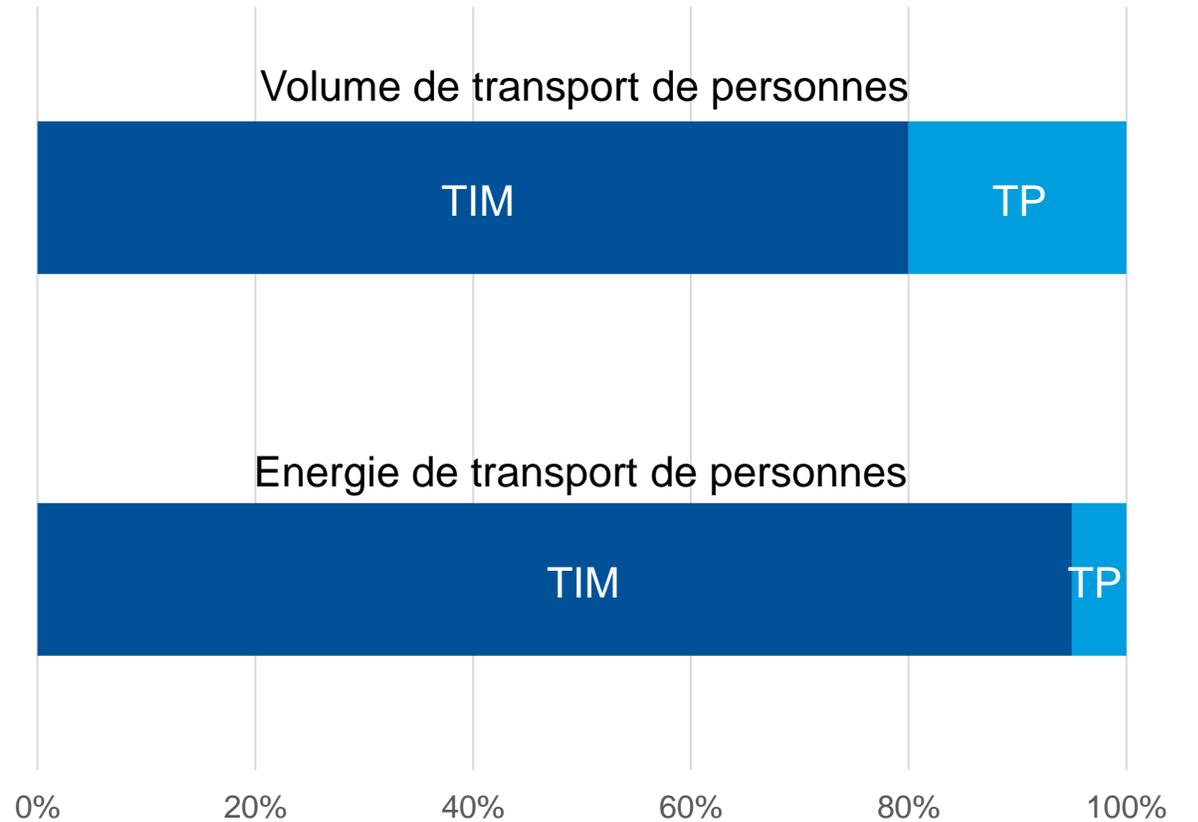




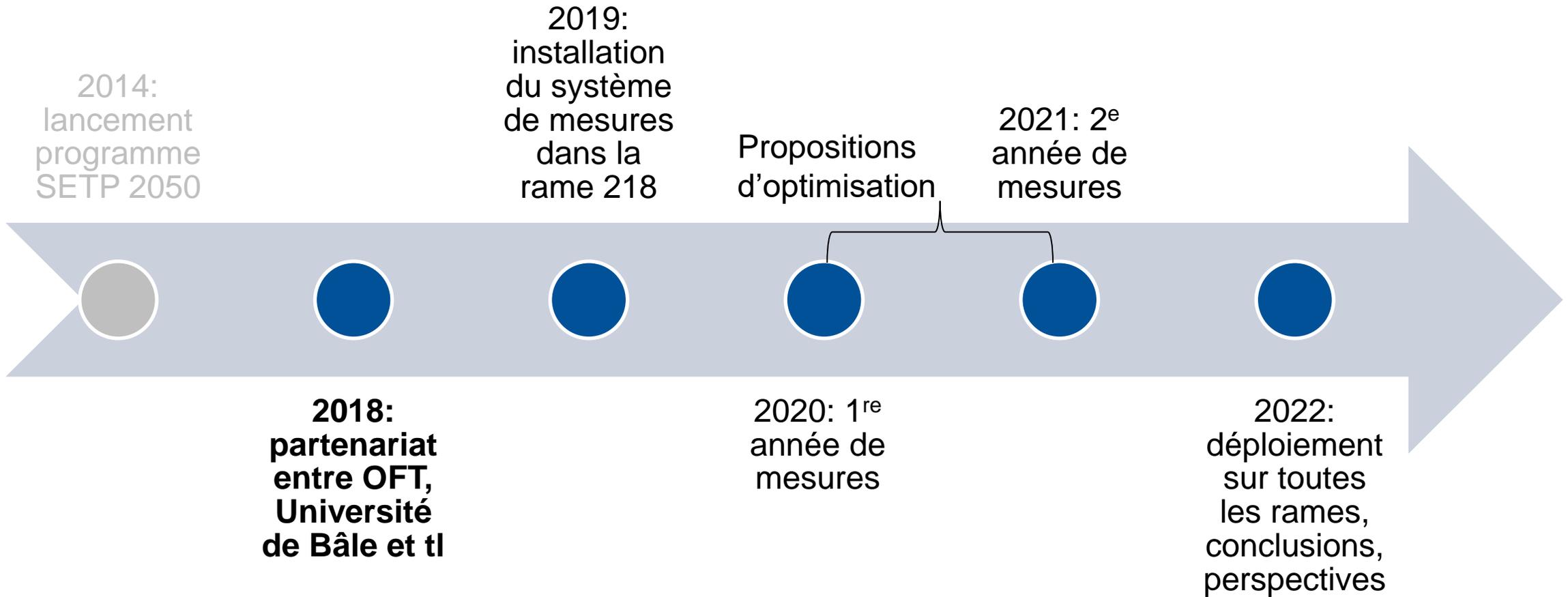
**Consommation d'énergie en Suisse par secteurs en milliards de kWh (source: OFEN 2019)**



**Prestations de transport et consommation d'énergie (source: OFS 2019)**



■ Transports individuels motorisés (TIM) ■ Transports publics (TP)

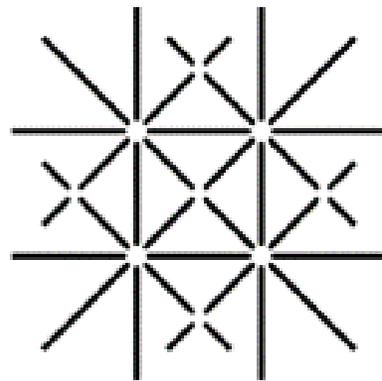


- Financement (188 700 francs)
- Expériences avec le matériel roulant
- Standardisation des mesures au matériel roulant existant



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Verkehr BAV**  
**Office fédéral des transports OFT**  
**Ufficio federale dei trasporti UFT**  
**Uffizi federal da traffic UFT**

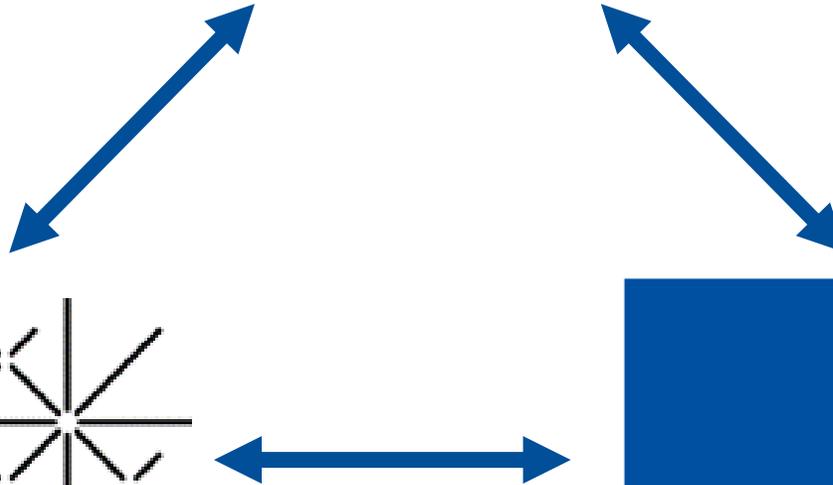


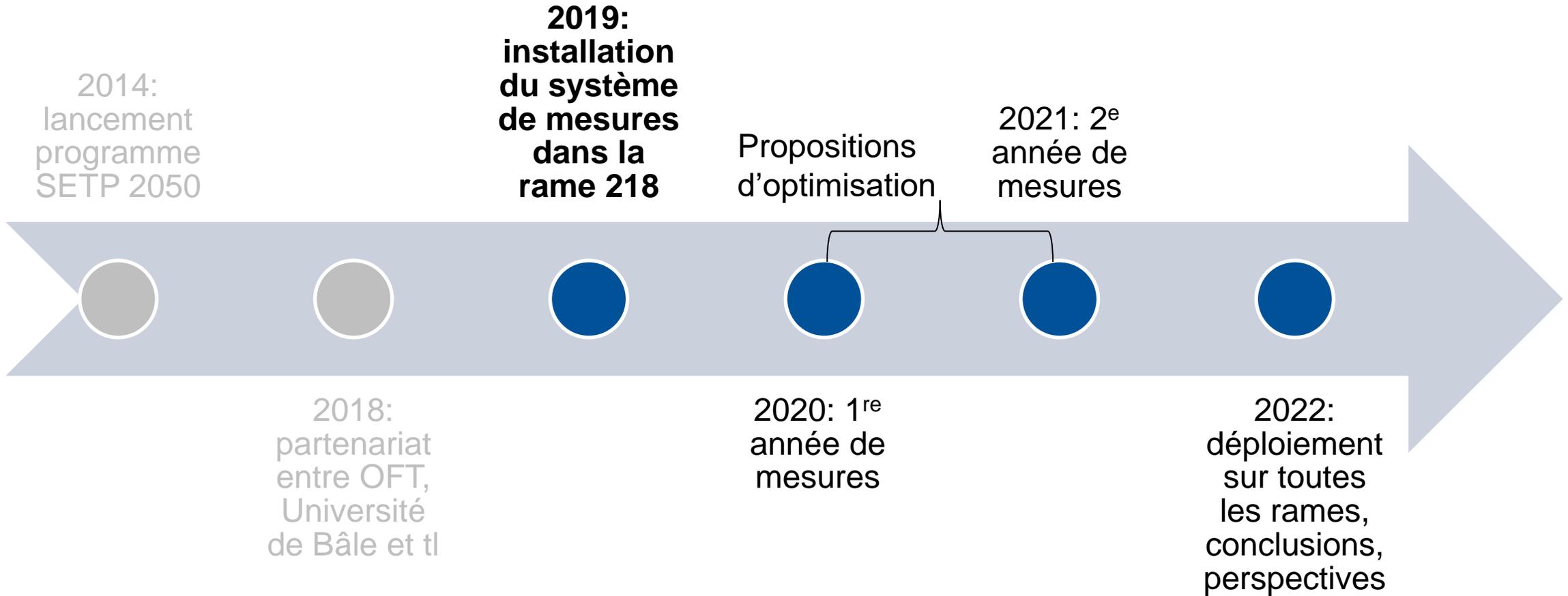
UNI  
BASEL



- Financement (226 246 francs)
- Ingénierie et intégration
- Analyse des résultats

- Financement (27 061 francs)
- Installation
- Gestion de projet







Vue d'ensemble des capteurs installés sur la rame 218



Suivi en temps réel de la position de la rame



Capteur de courant dans une armoire cabine



Capteur de température



Antenne GPS et mobile



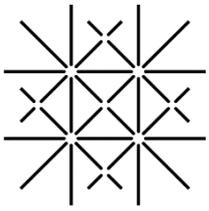
Capteur de rayonnement solaire



Cerveau du système de mesure

≈ 60 capteurs sélectionnés et intégrés par l'Université de Bâle et installés par OPDF:

- Mesure des conditions extérieures d'utilisation (position, vitesse, température, rayonnement solaire, etc.)
- Mesure de la consommation électrique des équipements (traction, HVAC et auxiliaires)



UNI  
BASEL

# Systeme de mesure (tâche et fonctionnement)

## Tâche du système:

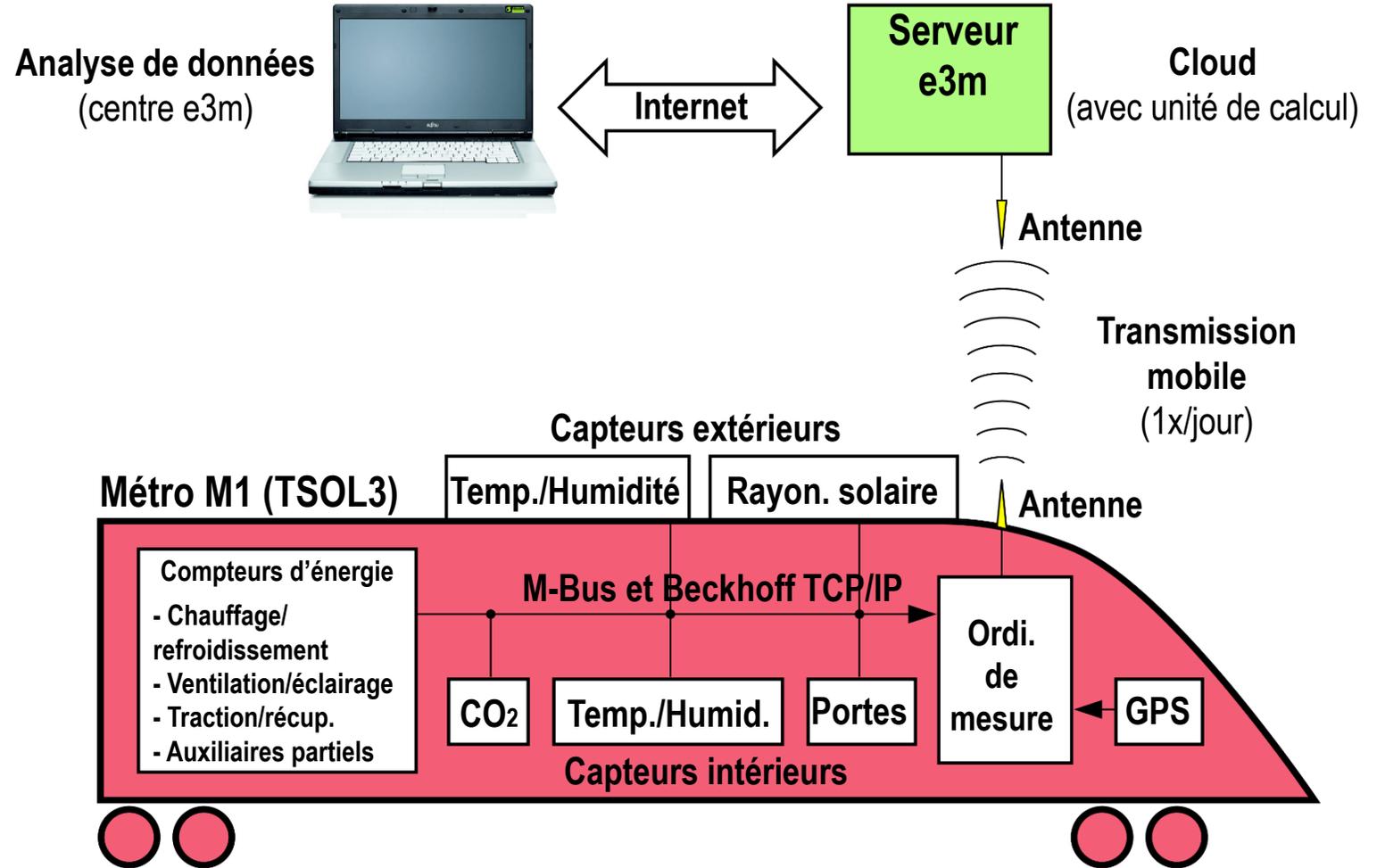
Mesure sur le long terme pour déterminer, appliquer et examiner des mesures d'économies d'énergie

## Partenaires:



 Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

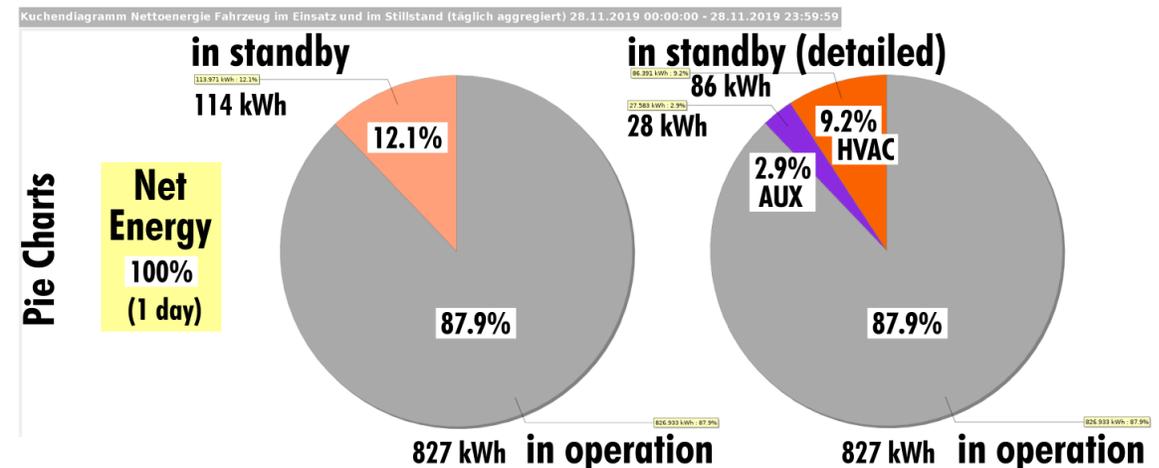
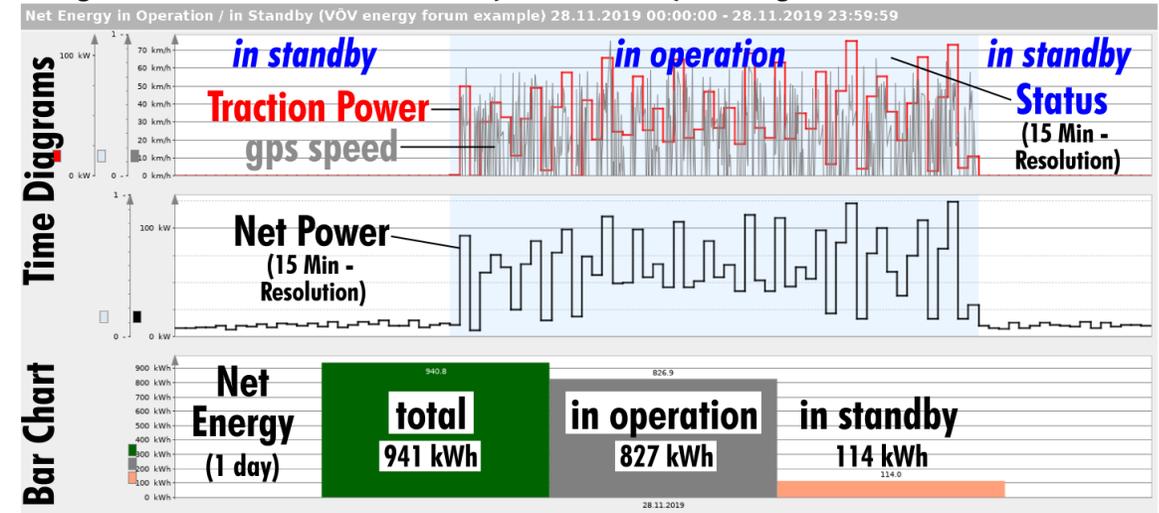
Bundesamt für Verkehr BAV  
Office fédéral des transports OFT  
Ufficio federale dei trasporti UFT  
Uffizi federal da traffic UFT



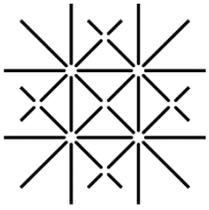
- Le système e3m est une marque de l'entreprise allemande Emation avec laquelle coopère la société suisse Opit.
- Opit livre le calculateur préconfiguré et le serveur/l'accès au centre par navigateur Internet.
- Le système Beckhoff est un ordinateur industriel avec des nœuds de mesure modulaires (système PI).

## Fonctionnement du centre de données:

- L'ordinateur collecte toutes les minutes des données des capteurs, des données énergétiques DC prétraitées du système Beckhoff et des compteurs AC via différentes interfaces.
- Les données brutes sont envoyées une fois par jour au serveur. Des agrégations, formules et diagrammes prédéfinis y sont automatiquement calculées.
- Un exemple d'agrégations figure ci-contre: graphiques représentant la journée (semaine, mois ou année possibles).
- Les «Formeldatenpunkte» maîtrisent des calculs compliqués, peuvent comparer, synchroniser des horodatages, etc.
- Les graphiques rendent les données plus compréhensibles. L'exemple ci-contre montre certaines fonctions du centre.
- Exporter les données ouvre encore plus de possibilités.



Exemple d'une journée (28.11.2019, température moyenne: 9.6°C)

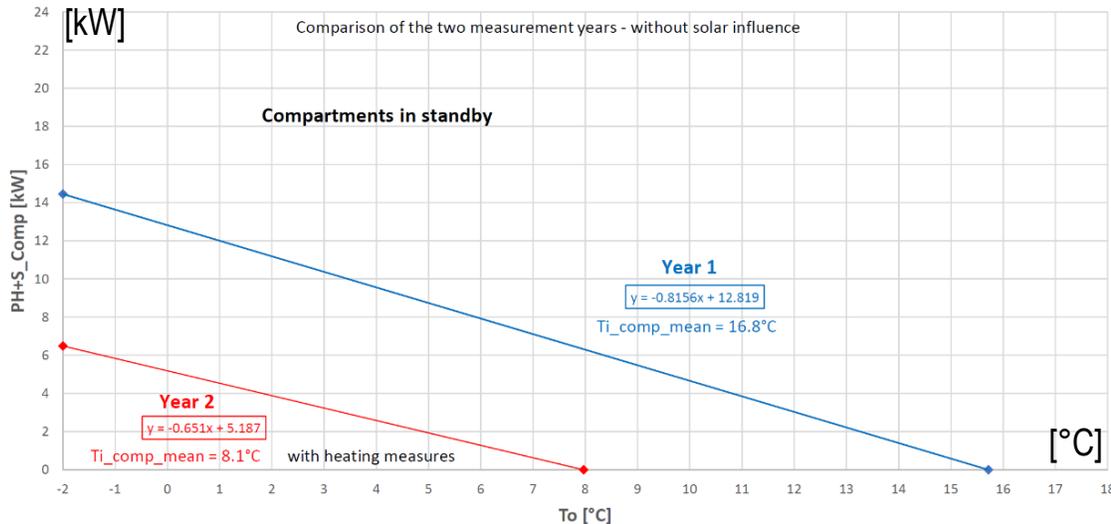


## Mesures d'économies d'énergie de chauffage dans le m1:

- Baisser la température en mode veille à 8°C
- Baisser la température en exploitation de 3°C (de 21 à 18°C)

## Méthode de calcul du potentiel d'économie d'énergie de chauffage:

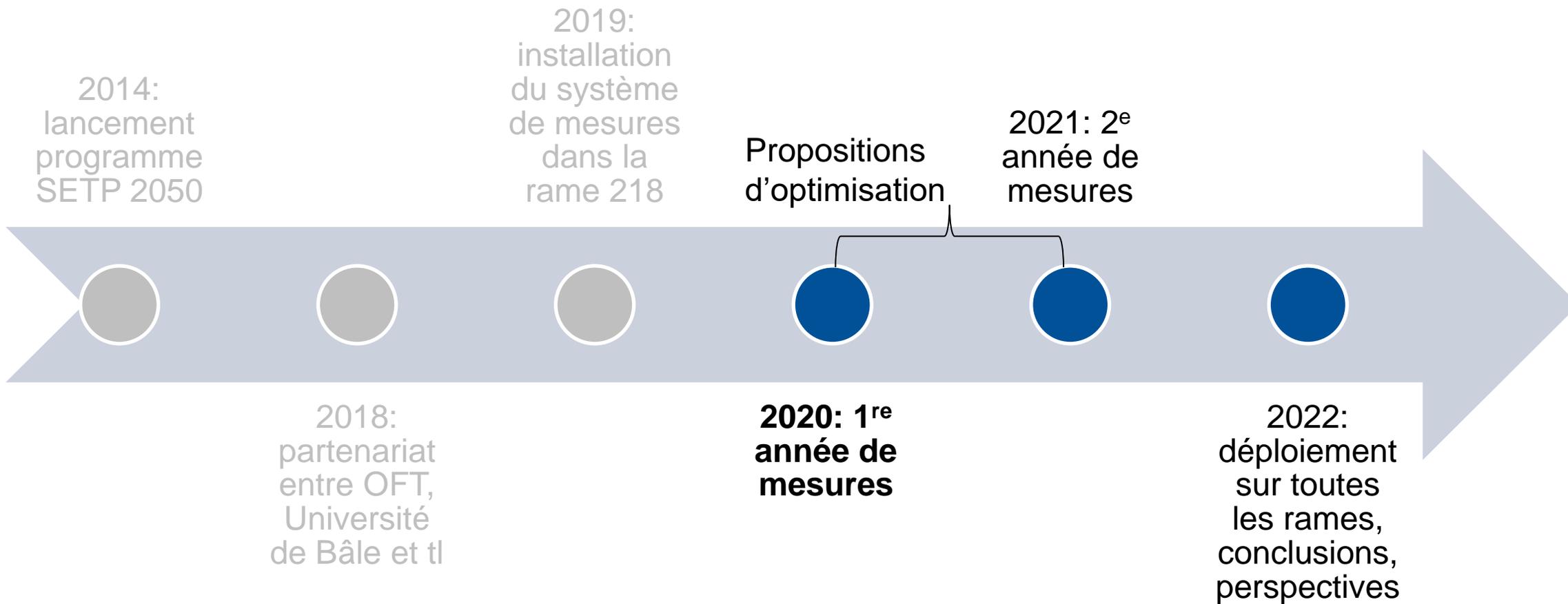
- Afin d'estimer l'économie d'énergie à l'avance, des graphiques spécifiques de performance du chauffage ont été établis chaque heure (classés selon le type d'exploitation et la différence de température (intérieure moins extérieure) ou la température extérieure.
- Les courbes de tendance linéaires obtenues permettent de simuler l'énergie de chauffage. Pour ce faire, on additionne les valeurs recalculées toutes les 15 minutes en tenant compte des mesures d'économie, de la température extérieure mesurée ou du delta de température de la première année de mesure (résultat: 35 040 intervalles de 15 minutes).



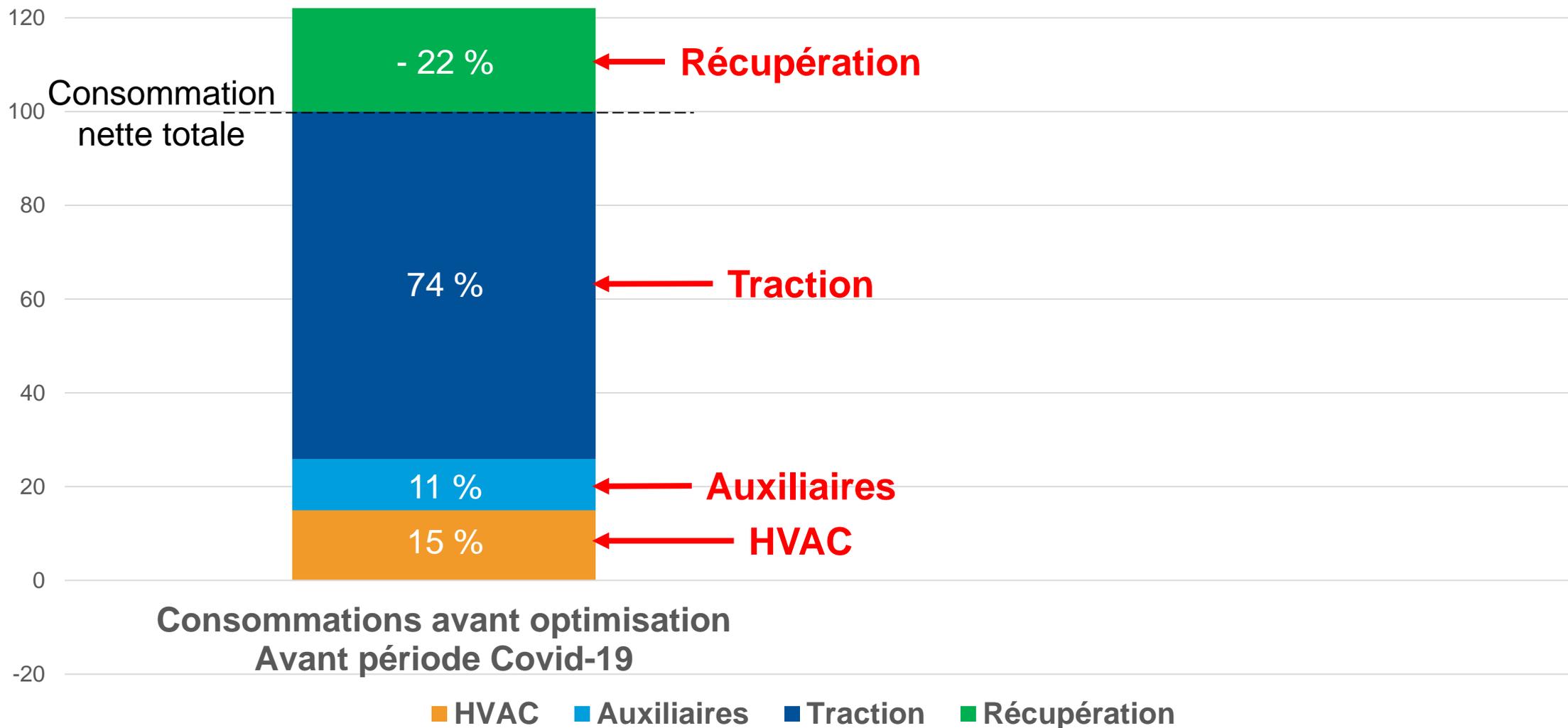
Cette méthode convient également parfaitement pour comparer les économies d'énergie mesurées de deux années (avec et sans mesures):

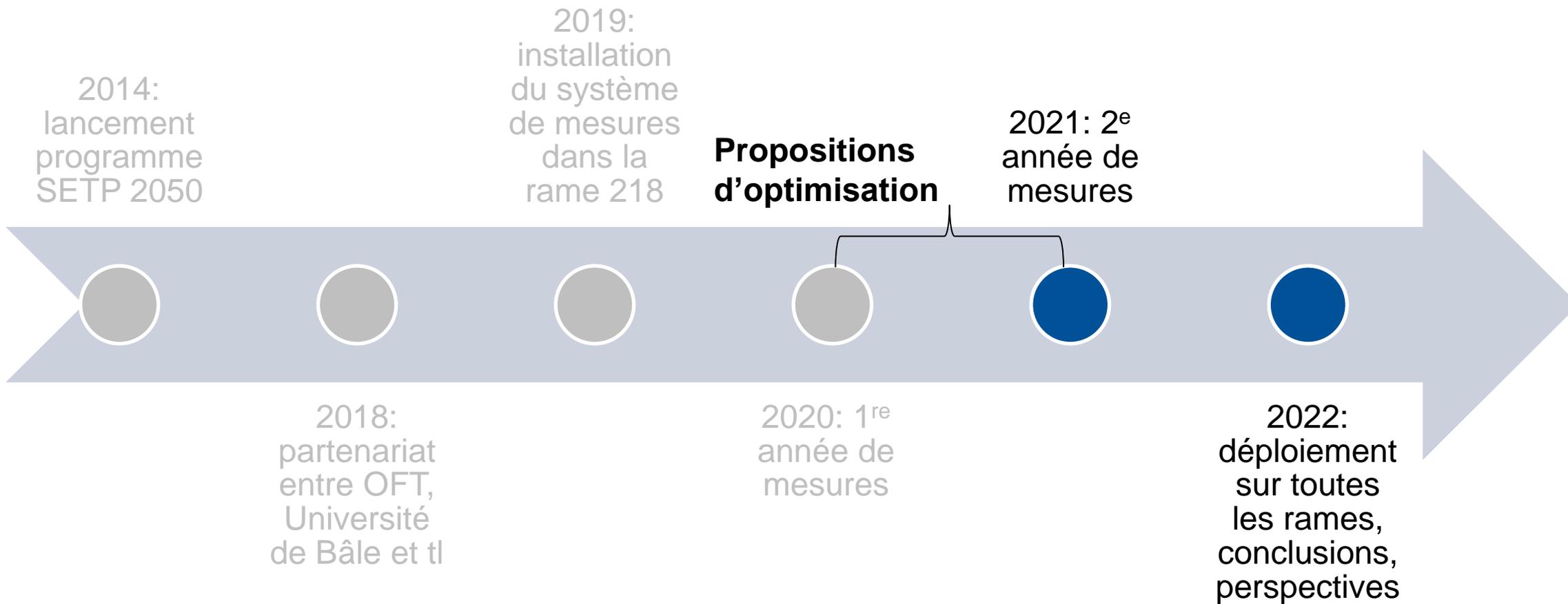
- On utilise les lignes de tendance de la deuxième année (avec mesures) pour déterminer le besoin d'énergie à l'aide des conditions environnementales et d'exploitation de la première année (sans mesure).
- Cela permet une comparaison directe, et même de pondérer selon l'influence du soleil.
- La présente description de la méthode est très simplifiée.

Exemple: puissance de chauffage en fonction de la température extérieure To (à l'arrêt)

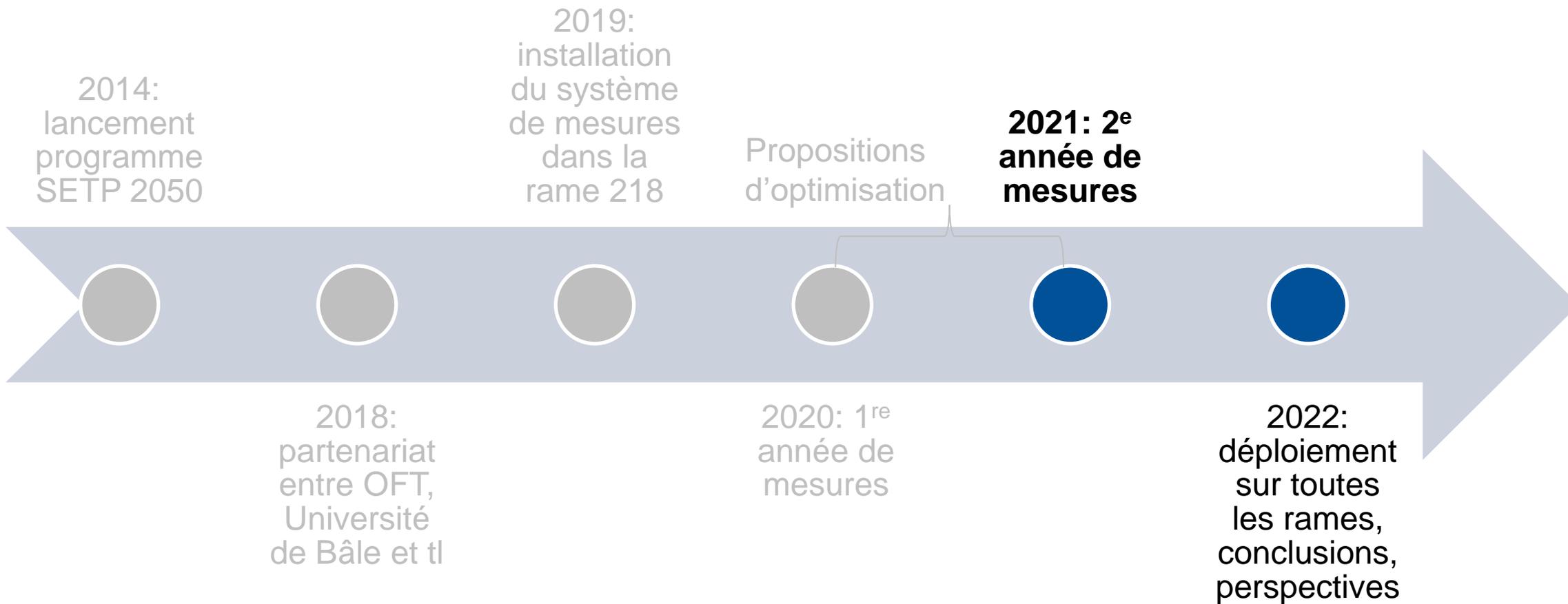


# Consommations avant optimisation (1<sup>re</sup> année de mesures, avant période Covid-19)

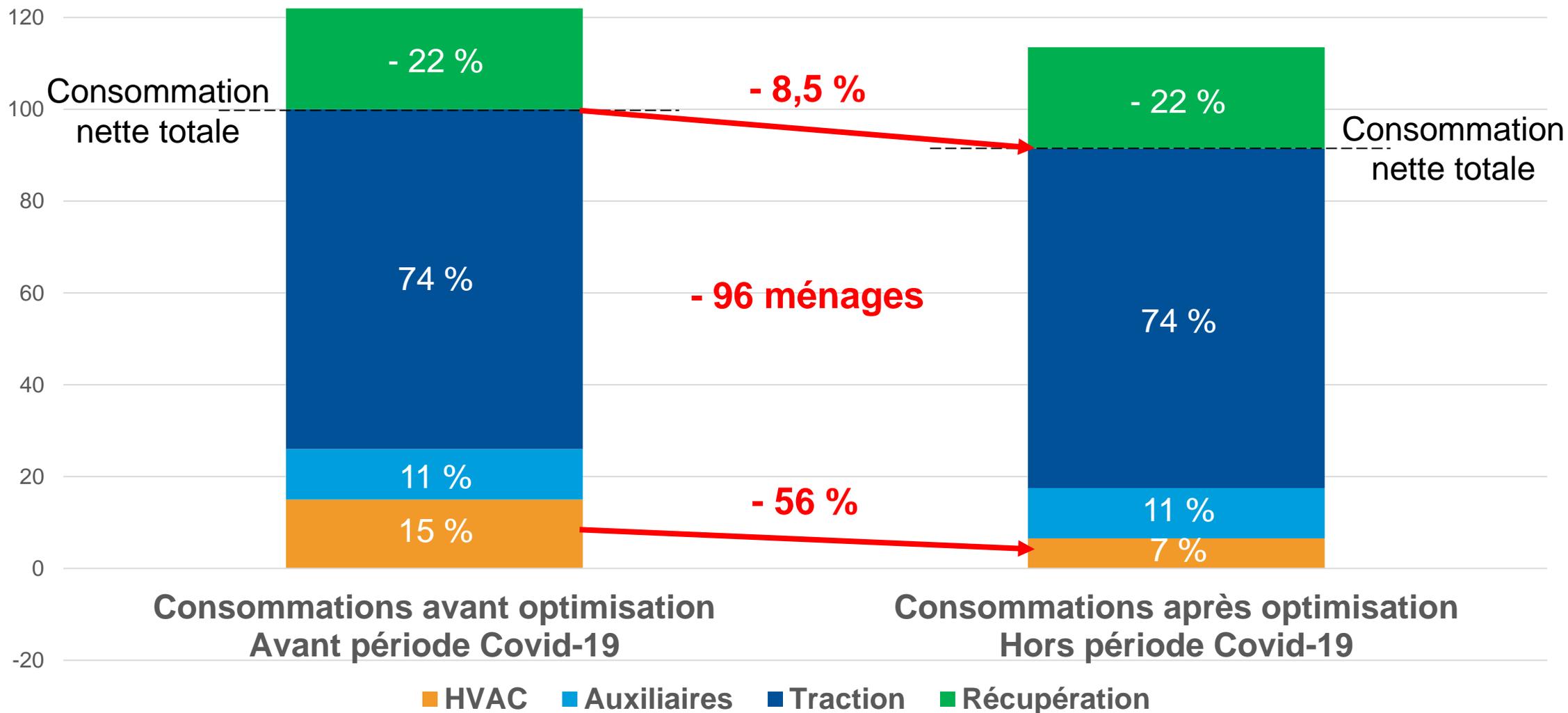


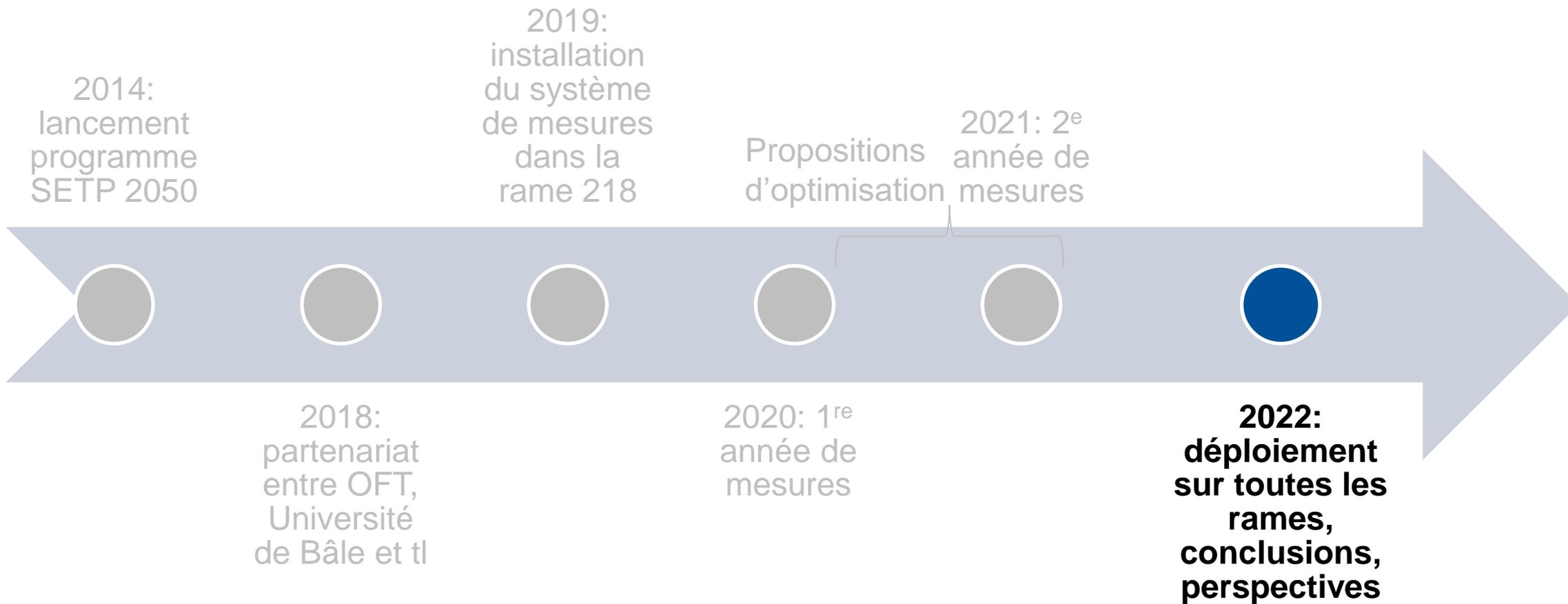


Proposition	Effort	Description	Part énergie nette totale
P1	Moyen	Veille complète du chauffage en dépôt	2,42 %
P2	Moyen	Baisse de la température à 8°C en dépôt	6,44 %
P3	Moyen	Baisse de la température à 18°C en exploitation	3,95 %
P4	Elevé	Double vitrage	4,17 %
P5	Moyen	Ecoconduite	2,00 %
P6	Moyen	Chauffage avec l'énergie de freinage	1,00 %



# Réduction de la consommation électrique (2<sup>e</sup> année de mesures, hors période Covid-19)





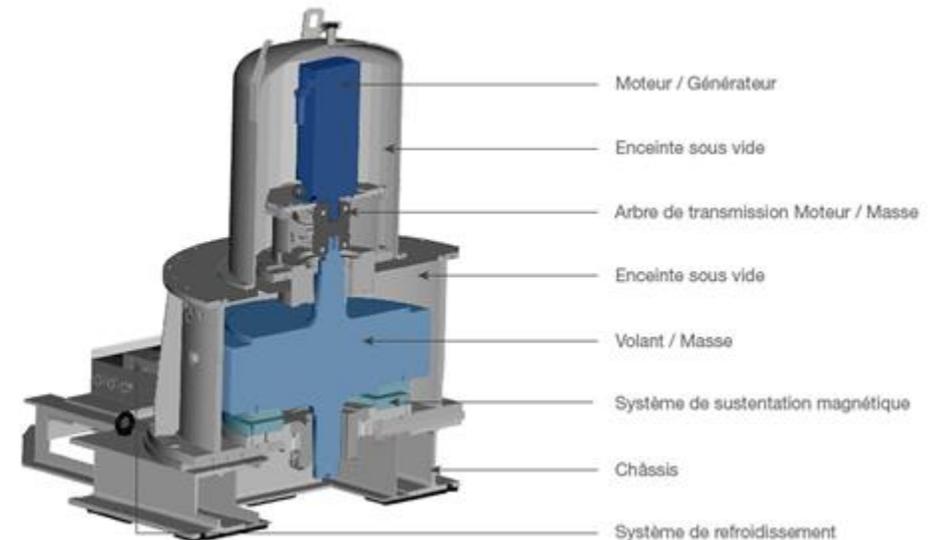
Désignations budgets	Montants (en francs, hors TVA)	Consommations équivalentes
Coût annuel consommation HVAC ( <u>avant</u> Covid-19)	154 000	171 ménages
Coût annuel consommation HVAC ( <u>hors période</u> Covid-10)	67 000	75 ménages

**- 56 %**

**Economie annuelle de 87 000 francs au prix actuel de 0,18 franc du kWh**

Pistes supplémentaires de réduction d'énergie économiquement viables:

- Ajouter un mode veille en dépôt au système HVAC et aux auxiliaires (durant l'été)
- Minimiser la différence de température entre le compartiment voyageurs et l'extérieur (durant l'hiver)
- Ajouter une zone de température sans chauffage (à la mi-saison)
- Stocker et restituer temporairement l'énergie de récupération dans le matériel roulant (exemples: batteries, supercondensateurs)
- Stocker et restituer temporairement l'énergie de récupération en infrastructure (exemples: batteries, volants d'inertie)



Bénéfices pour d'autres projets:

- Retour d'expérience et standardisation de la prise de mesures sur le matériel roulant existant
- Retour d'expérience pour l'acquisition de matériel roulant neuf





# Questions



# Merci de votre attention

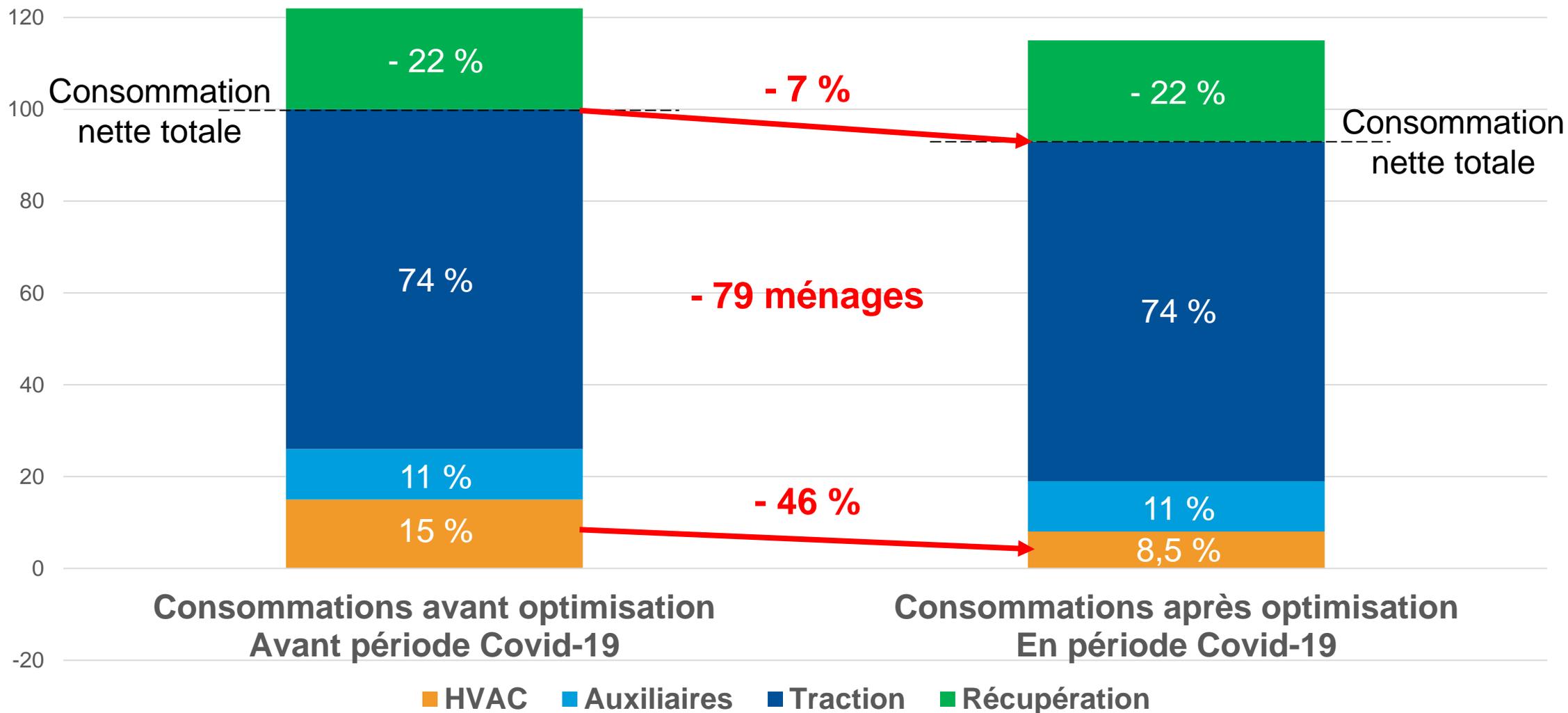


Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Verkehr BAV**  
**Office fédéral des transports OFT**  
**Ufficio federale dei trasporti UFT**  
**Uffizi federal da traffic UFT**



# Réduction de la consommation électrique (2<sup>e</sup> année de mesures, en période Covid-19)



Désignations budgets	Montants (en francs, hors TVA)	Consommations équivalentes
Coût annuel consommation HVAC ( <u>avant</u> Covid-19)	154 000	171 ménages
Coût annuel consommation HVAC ( <u>en période</u> Covid-19)	83 000	92 ménages
Coût annuel consommation HVAC ( <u>hors période</u> Covid-19)	67 000	75 ménages

Après réduction

- 46 %  
- 56 %

**Economie annuelle de 87 000 francs au prix actuel de 0.18 franc du kWh**