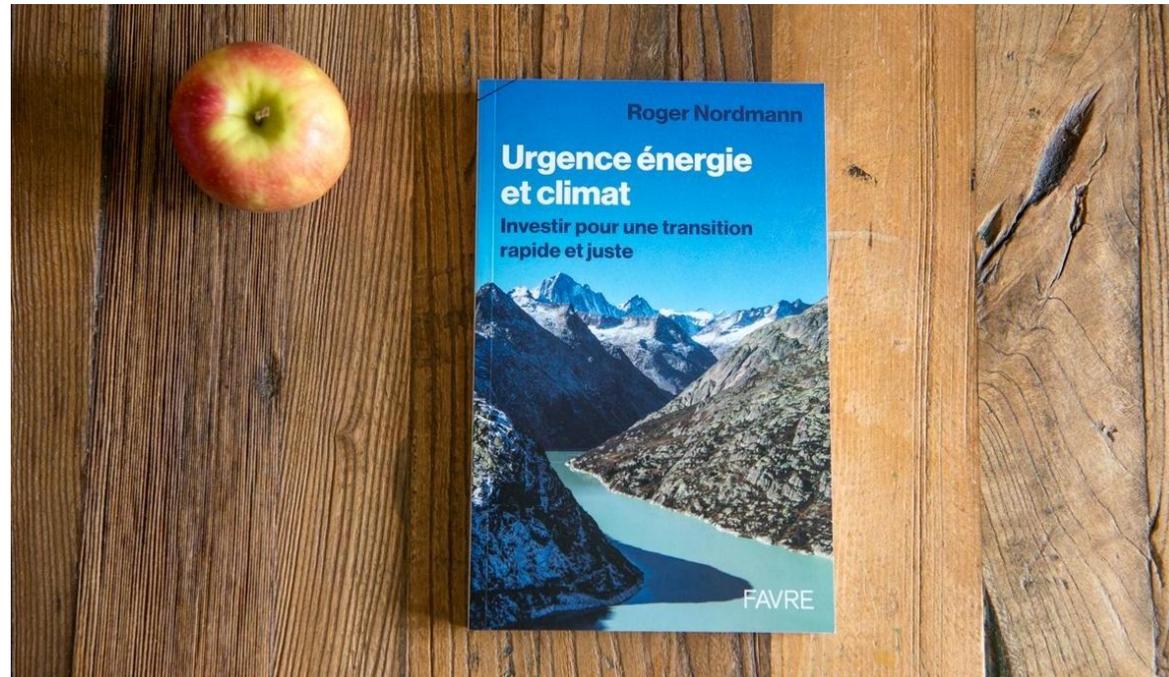




Assemblée générale des TL, 18 juin 2025

***Approvisionnement et transition énergétique :  
Grands enjeux et positionnement des transports publics***



Roger Nordmann, Consultant,  
*Président du CA de Planair, membre du CA de Groupe E, Président de Smartgrid-Suisse,  
ancien Président du Groupe PS des Chambres fédérales*

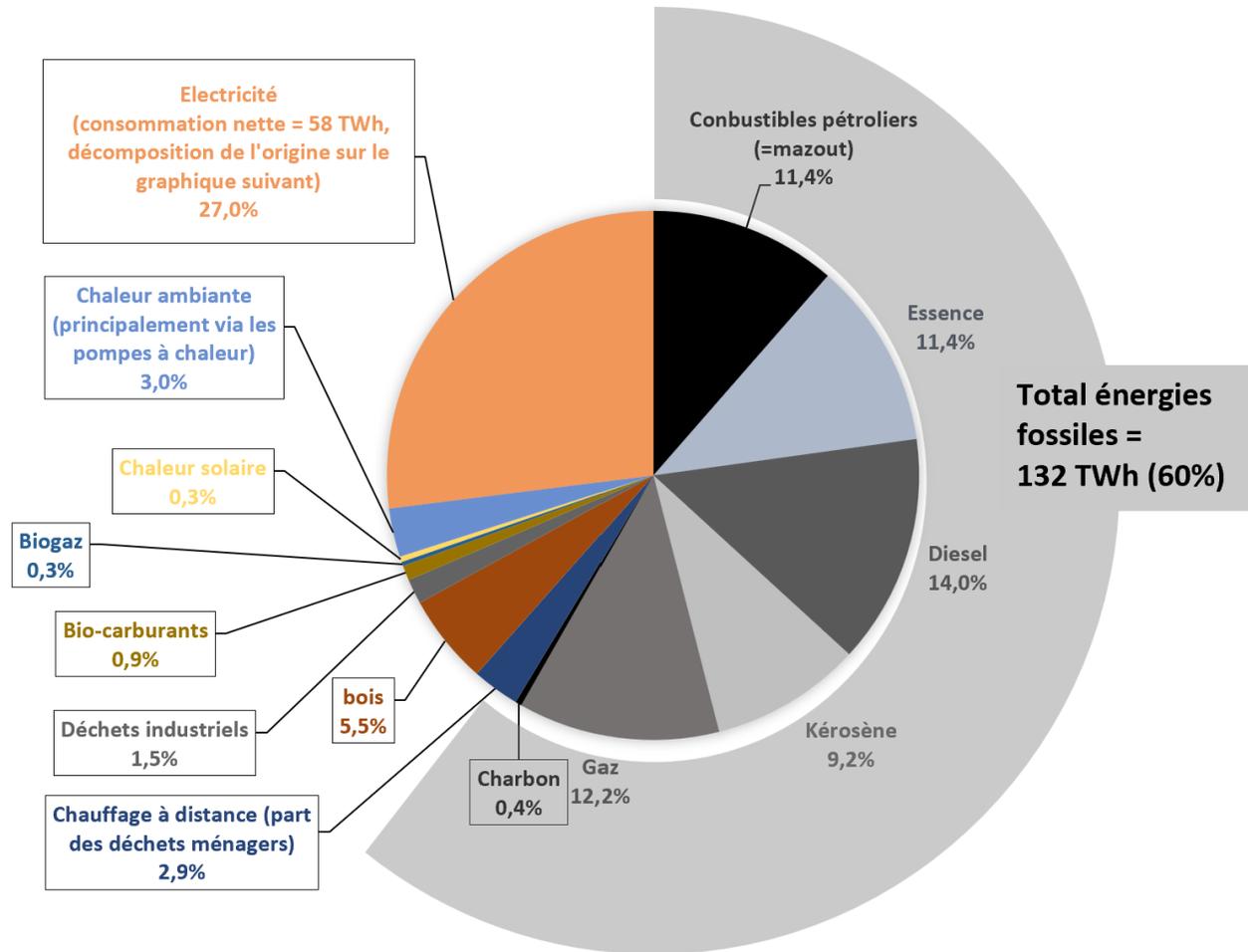
**approche**  
**NORDMANN**

# Contenu

- 1) Energie: la situation de départ
- 2) Vers la neutralité climatique
- 3) La consommation d'énergie des transports
- 4) Electricité: la situation actuelle en hiver et en été
- 5) Le mix de production électrique dont nous avons besoin
- 6) Optimisation de l'approvisionnement en énergie pour les TP

# 1) La situation de départ

Consommation finale d'énergie de la Suisse en 2023, Total 215 TWh



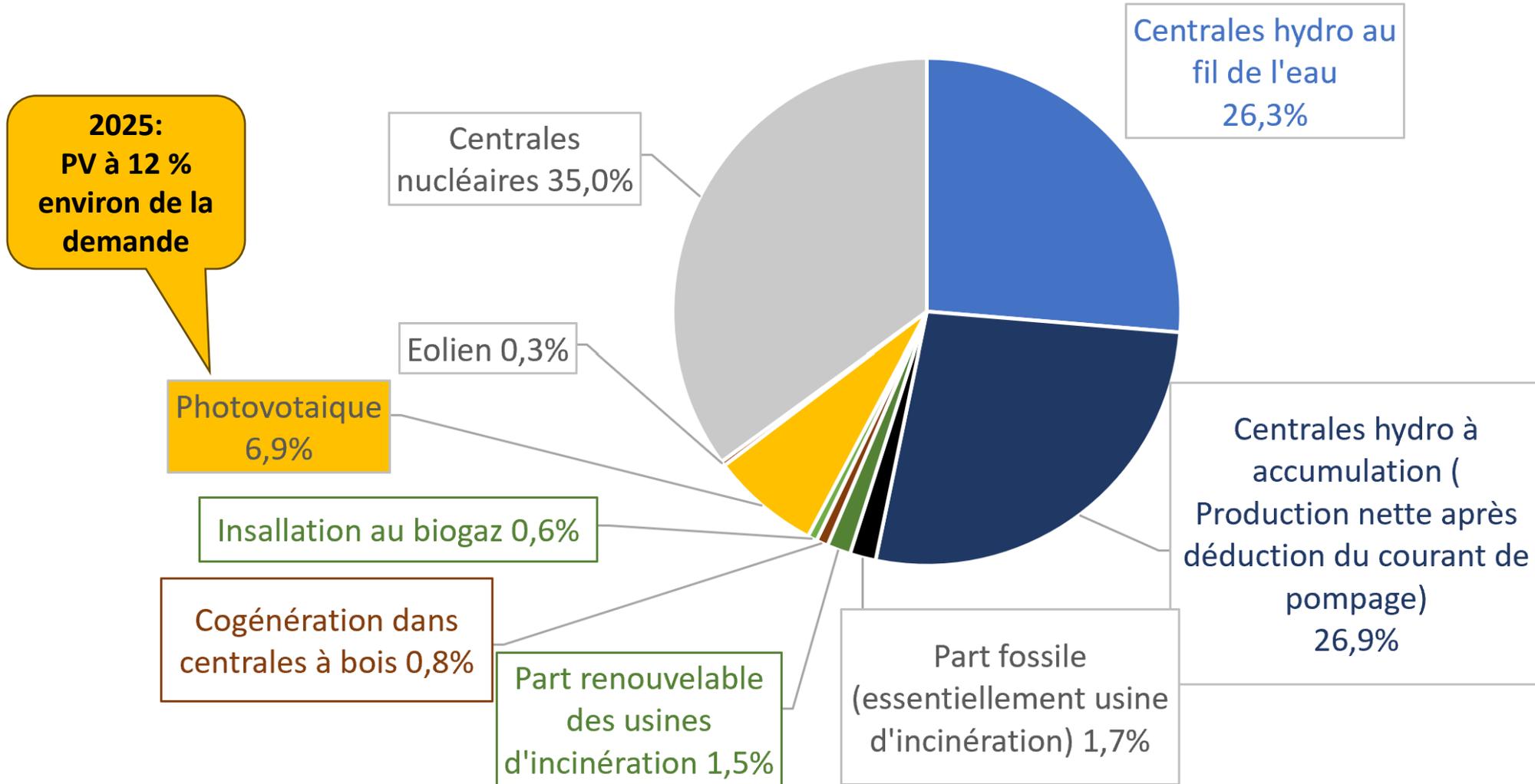
Maximum historique en 2010: 251 TWh

2023: 215 TWh

Baisse de 14,4%.

# Production nette d'électricité en 2023 = 66,5 TWh

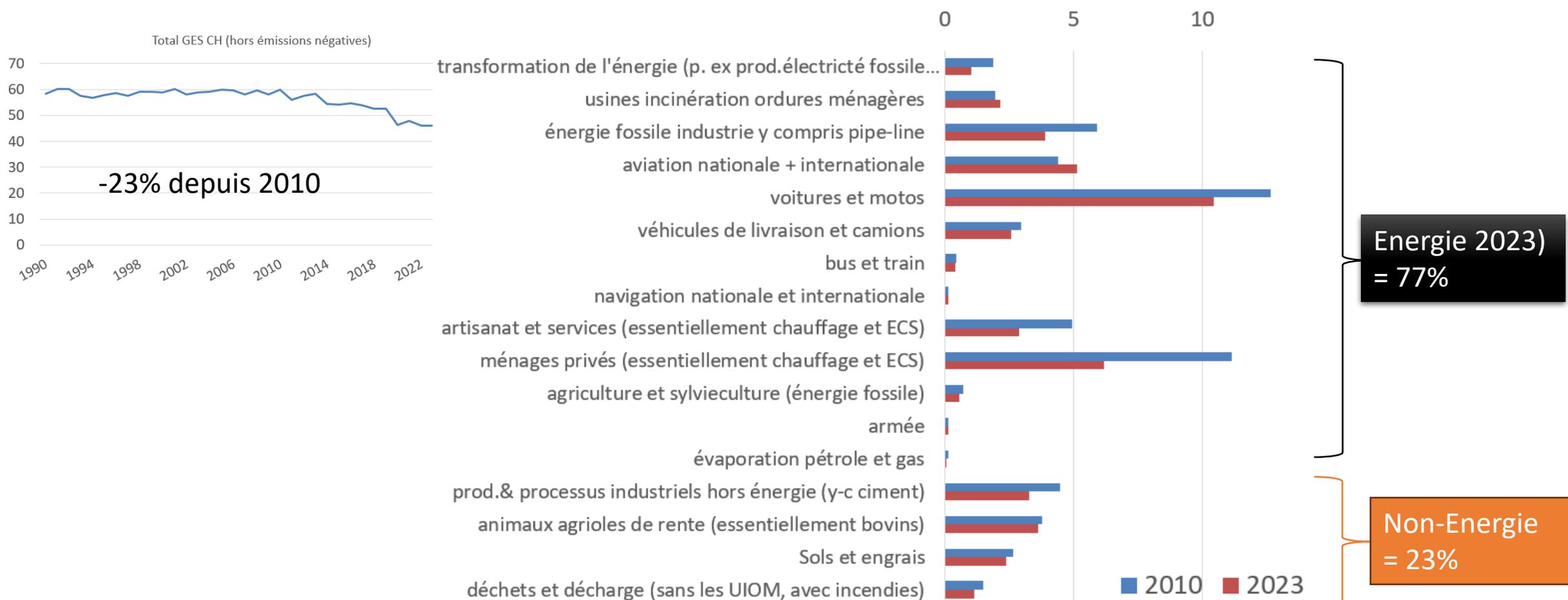
(Plus élevée que la demande de 58,1 et les pertes-réseau de 4,2 TWh)



## 2) Vers la neutralité climatique

### Emissions de gaz à effet de serre de la Suisse 2010 et 2023

Millions tonnes équivalents-CO2



# Annual CO<sub>2</sub> emissions 2003 à 2023

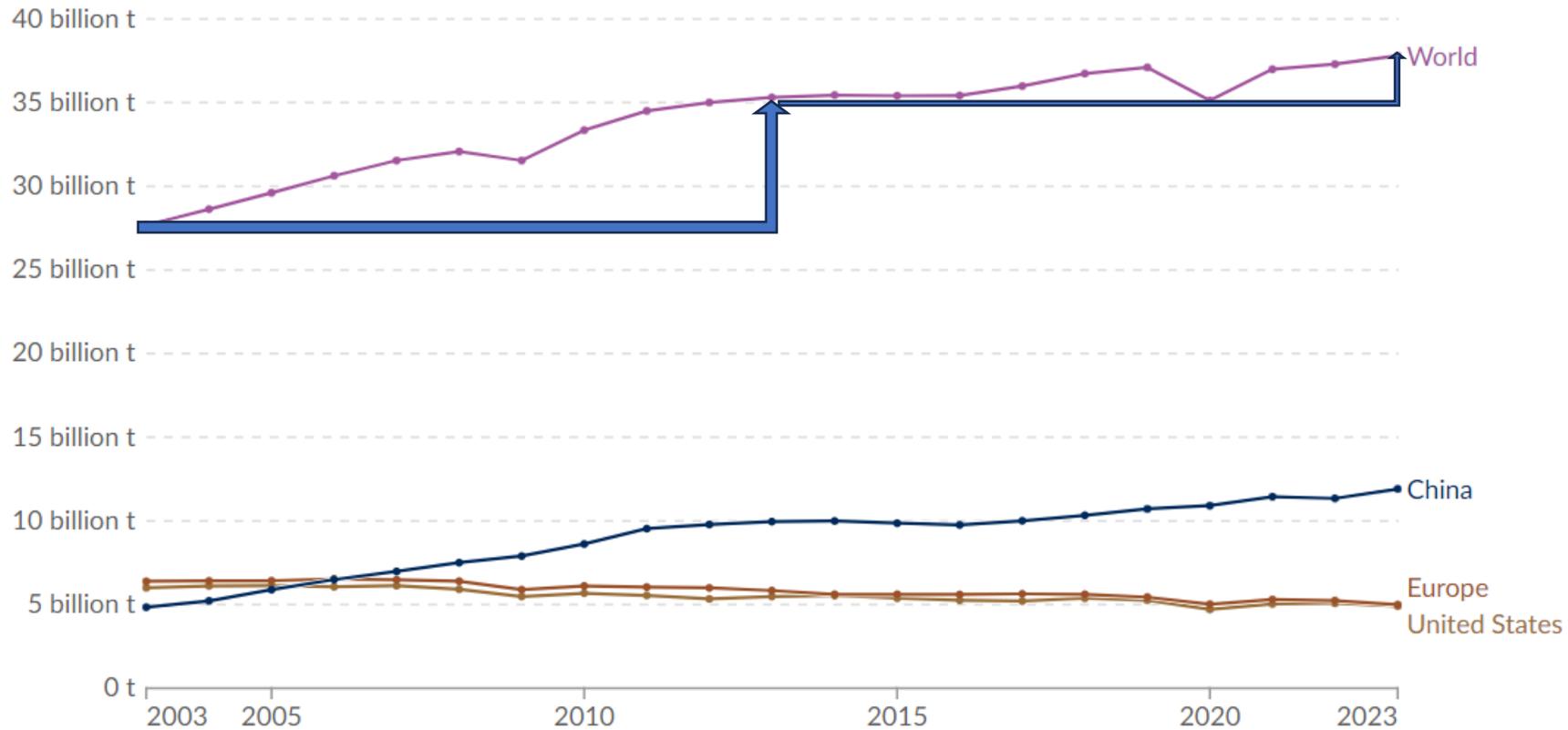
Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions from fossil fuels and industry. Land-use change is not included.

Table

Map

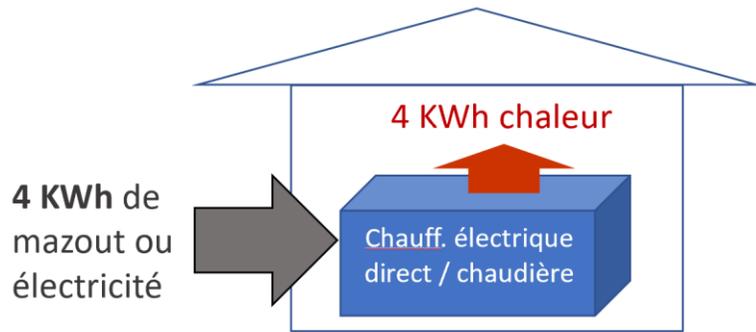
Chart

Settings

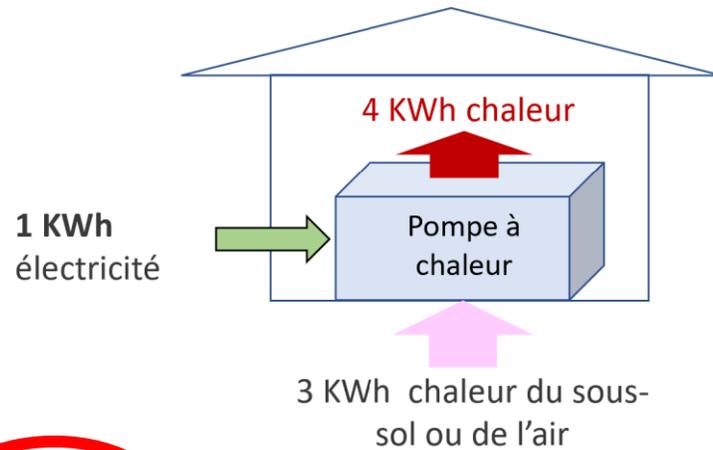


# La décarbonation de classiques: logements et mobilité

## Chauffage d'une maison Conventionnel



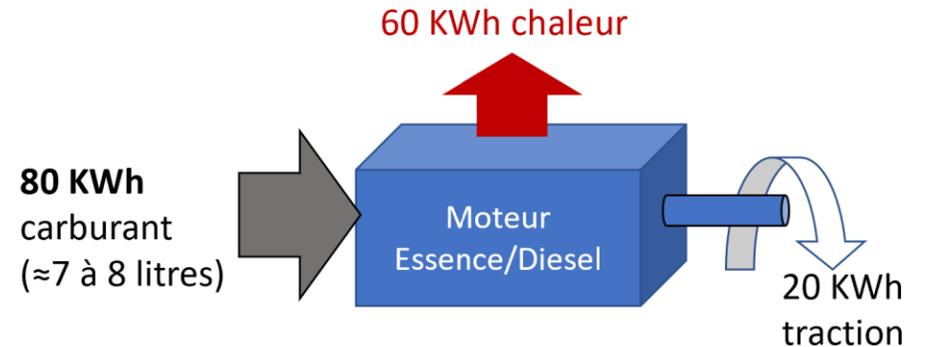
## Pompe à chaleur



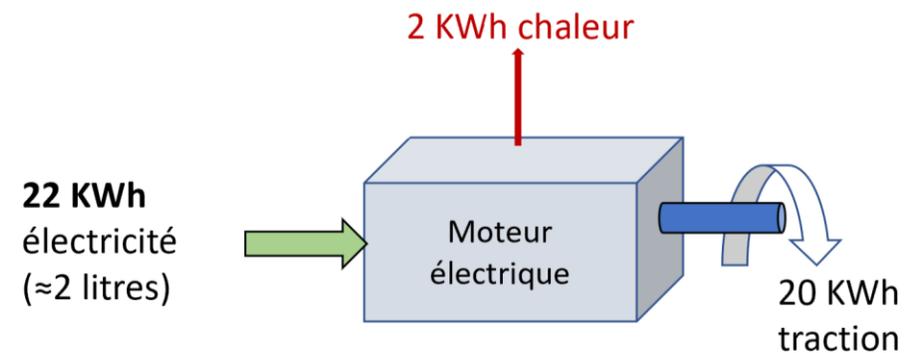
+ 6 TWh conso. d'électricité, principalement en hiver (aussi isolation et chaleur non-élec)

Et remplacer environ 20 TWh de nucléaire en fin de vie

## 100 Km en voiture Avec une voiture fossile



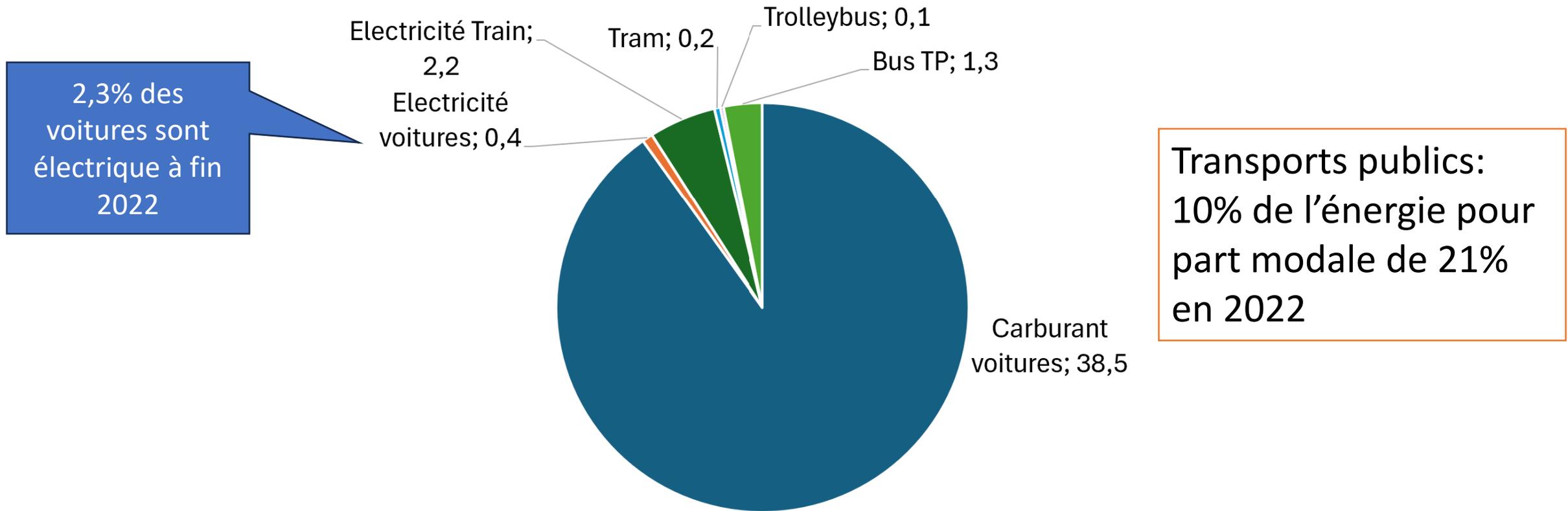
## Avec une voiture électrique



+ 17 TWh conso. d'électricité (répartis régulièrement)

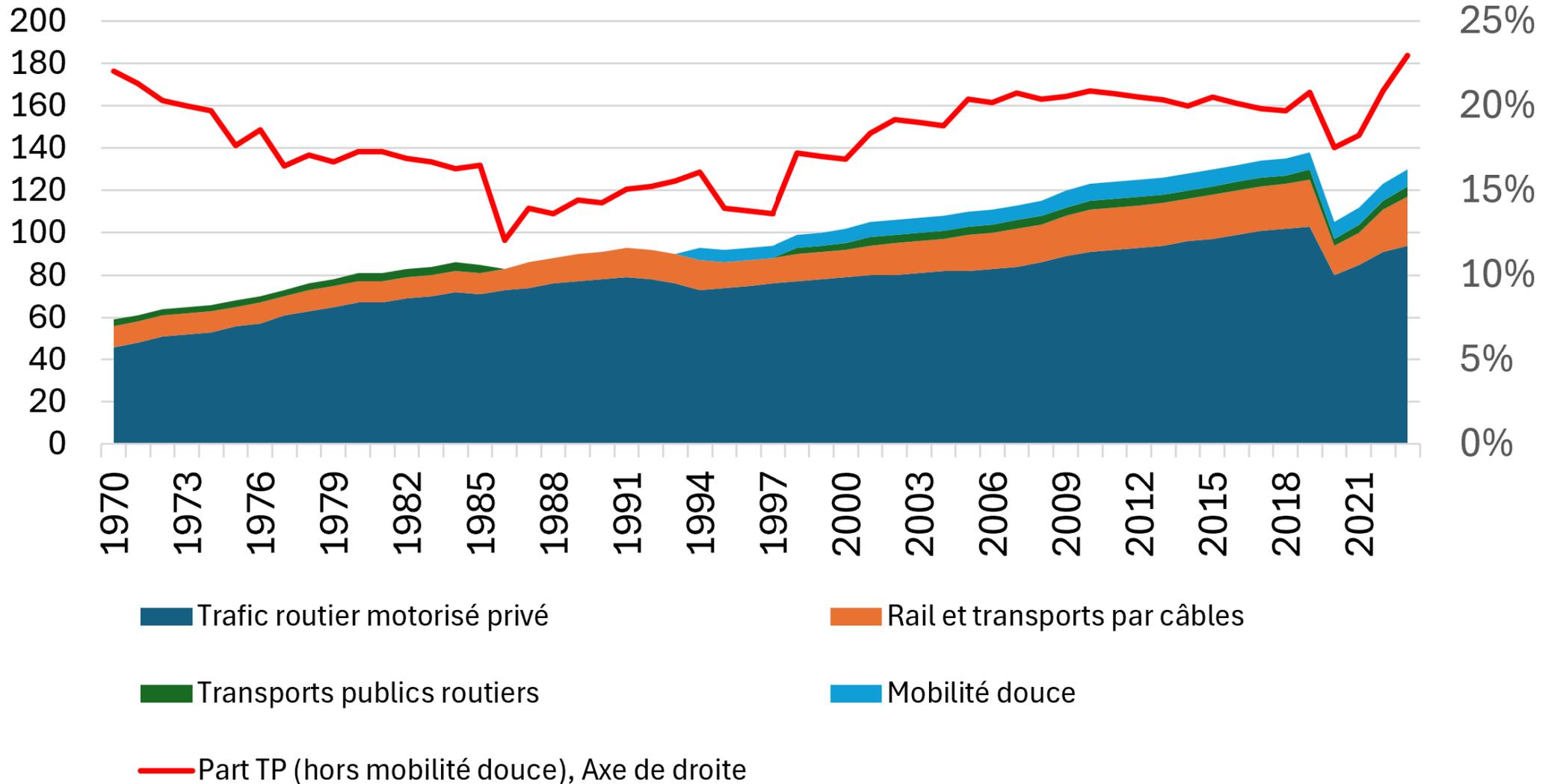
### 3) La consommation d'énergie des transports

#### Transports de personnes, 2022, TWh

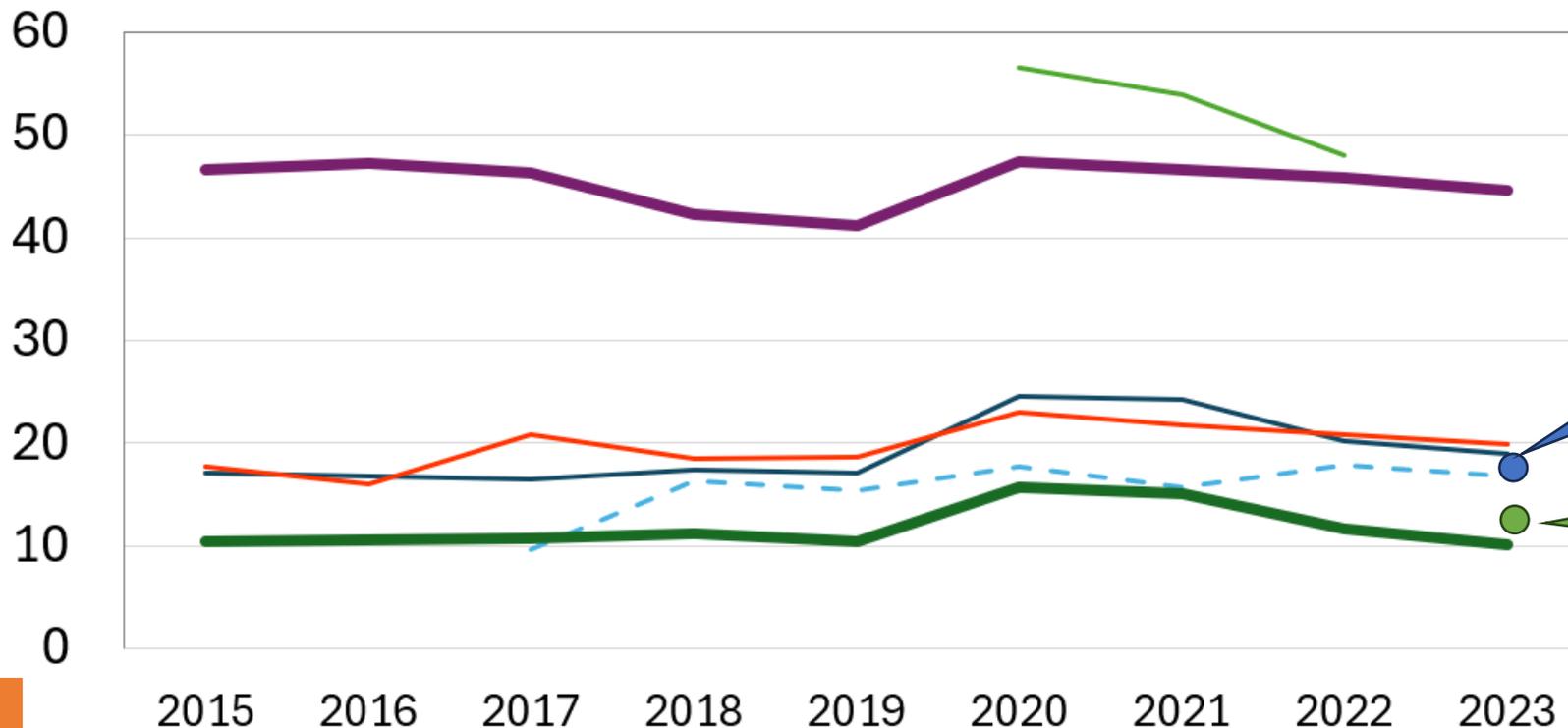


Source des données BFE, Verwendungszweck

Milliards de personnes-KM et part modale 1970-2023



### Consommation d'énergie en kWh par 100 "personne-KM"



1 litre diesel = 10 kwh

M2 = 18 kWh/KM-Passager

M1 = 13 kWh/KM-passager

Impact du taux d'occupation!

Source : Calculs et graphiques basés sur les données de l'OFT, de l'OFS et de l'OFEN (Des imprécisions peuvent exister)

# Implication pour les transports publics

- L'efficacité phénoménale du train demeure imbattable
- Par contre, la voiture électrique est au niveau des trolleybus et des trams
  - L'avantage de surface, d'efficacité, de matière etc demeure pour les TP
  - Mais challenge de la conduite automatique

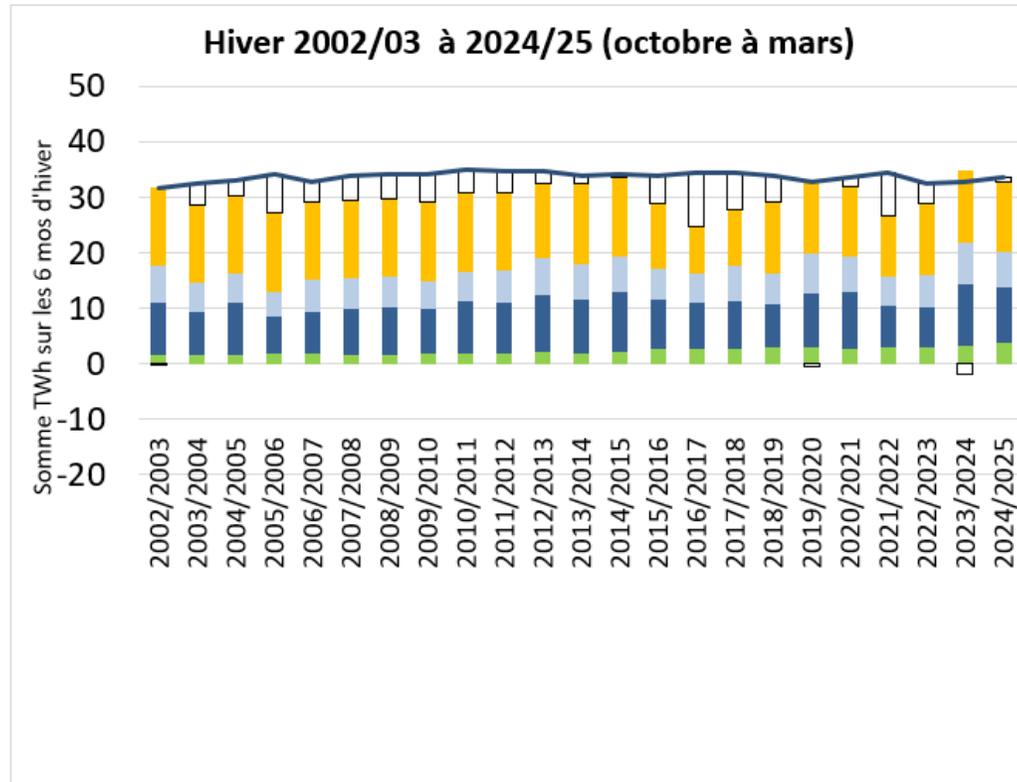
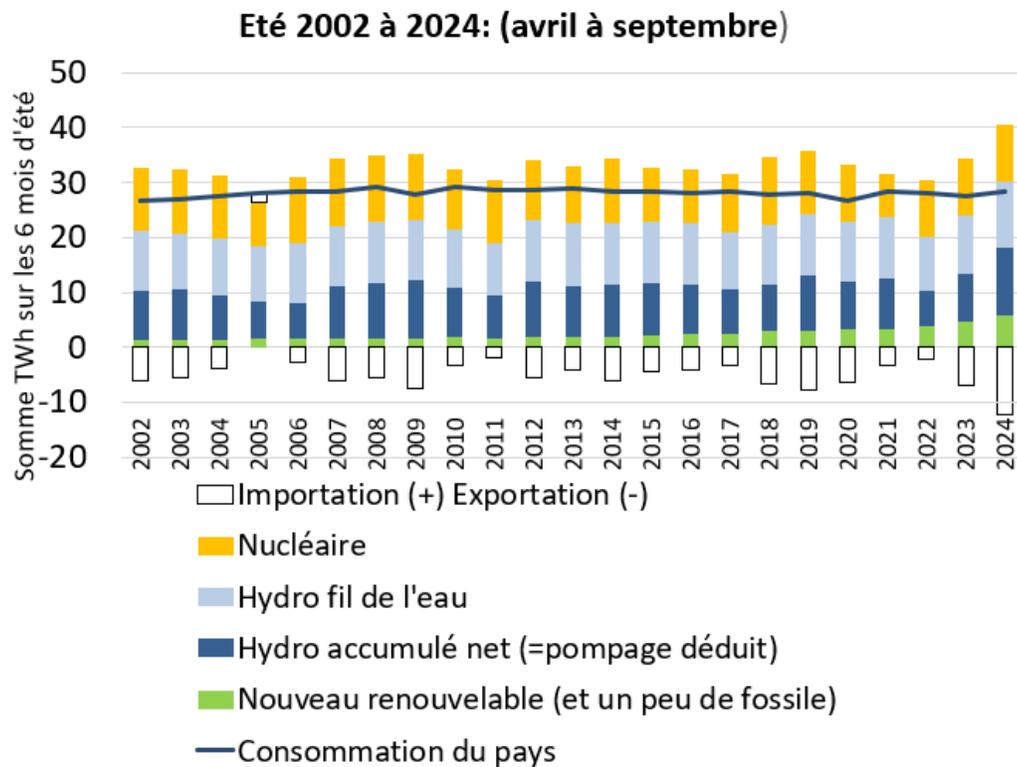
Les autobus sont complètement déclassés si pas électrifiés (batteries).

- De toute manière: fin du remboursement de l'impôt sur les huiles minérales 2026 urbains/2030 interurbains)
- Stratégie pour se procurer l'électricité: achat, production propre et stockage intermédiaire.

## Implications technologiques:

- Infrastructure de recharge en bout de ligne?
- Ou au contraire convergence E-bus et Trolleybus, avec lignes aériennes comme infrastructure de recharge?

# 4) Electricité: la situation actuelle en hiver et en été



## Pour la neutralité climatique (hors aviation):

- 20 TWh pour remplacer le nucléaire déclinant
  - + 6 TWh par an, principalement en hiver, pour le chauffage.
  - + 17 TWh par an pour la mobilité (répartis régulièrement)
  - + Décarboner l'industrie
  - + Ne pas utiliser de fossile en hiver pour produire de l'électricité
- = Défi énorme → investir massivement

## L'enjeu de l'approvisionnement hivernal en électricité

*OK actuellement mais deviendra critique après l'arrêt des centrales nucléaires pour raison d'âge.*

## 5) Le mix de production électrique dont nous avons besoin

- L'hydroélectricité existante
- La biomasse existante
- 4 GW éolien (1000 machines) → 6 TWh, dont 4 en hiver
- 15 projets «Table ronde»: 2 TWh de stockage hydro supplémentaire
- Au total 72 GW Photovoltaïque → 76 TWh (9x plus qu'aujourd'hui).
  - Actuellement: **9% du potentiel des toits est utilisé pour le PV, pour environ 8 GW**  
(source: [https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/DO\\_Energierporter/](https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/DO_Energierporter/) )

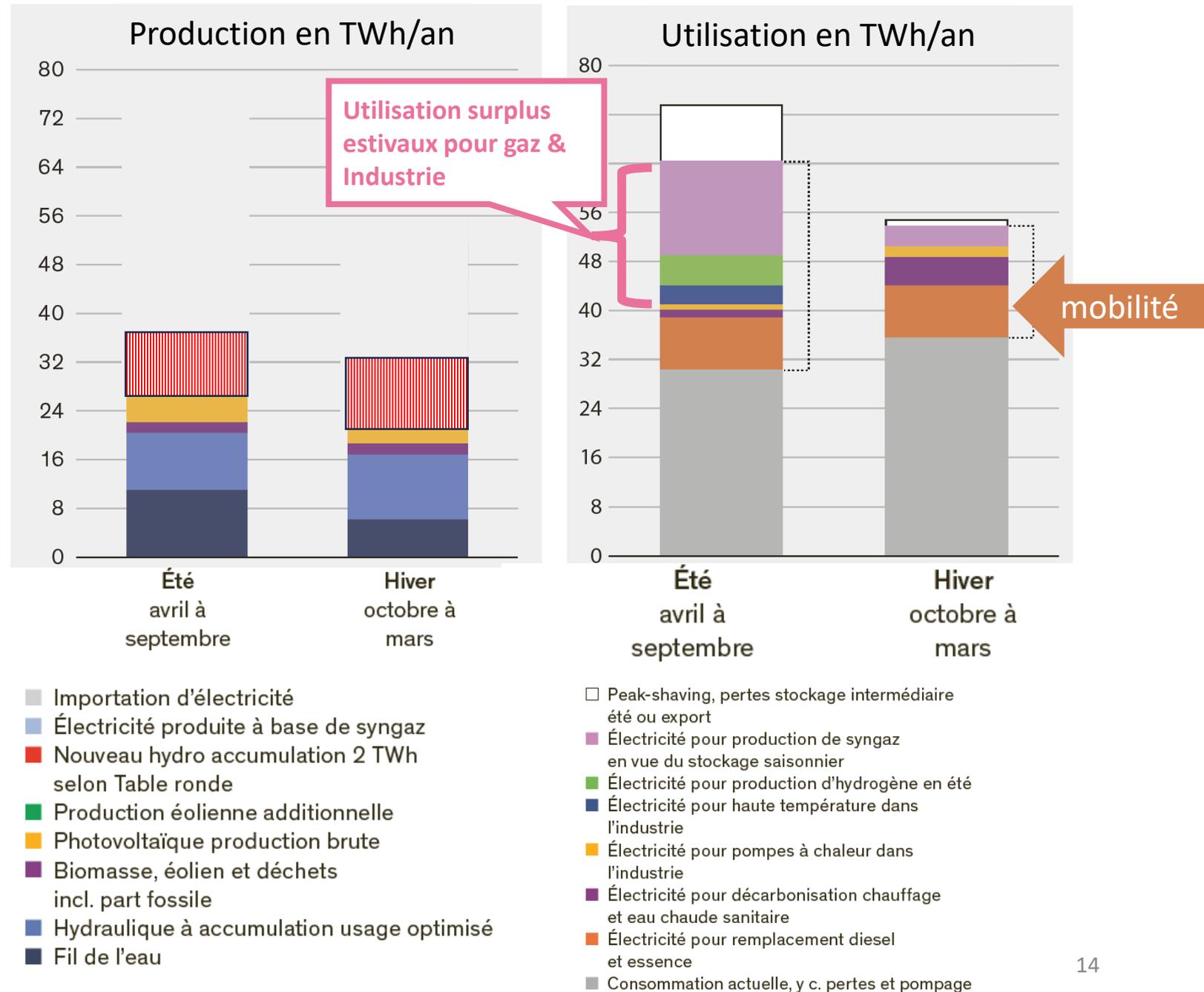
## La situation moyenne pendant les semestres d'été et d'hiver

### Le point central de la stratégie:

Disposer d'assez de production hivernale « native » pour couvrir les besoins actuels, l'électrification des voitures et les pompes à chaleur

Cela provoque des surplus estivaux: utilisés pour produire du gaz renouvelable (e-H2 ou e-méthane) pour les processus à haute températures.

Presque pas de pertes de reconversion de e-gaz → électricité.

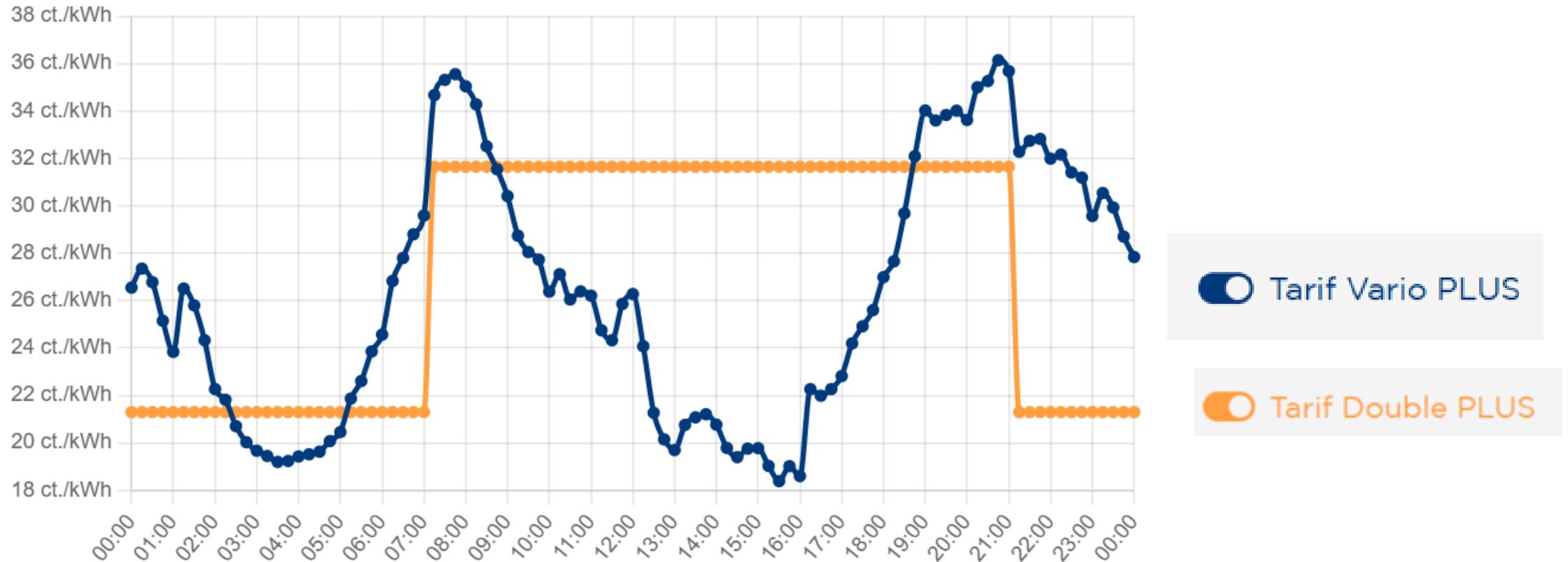


## 6) Optimisation de l'approvisionnement en énergie

- Production d'électricité sur place (pas de timbre de transport, pas de taxe) : photovoltaïque ou couplage chaleur-force
- Achat à long terme d'électricité (« Power-purchase-agreement » PPA) permettant au producteur d'investir dans la production.
- Optimisation sur l'axe du temps:
  - Pour profiter des tarifs variables reflétant la situation d'approvisionnement (énergie + réseau).
  - Tarif interruptible + Participation à la réserve hivernale
  - Stockage intermédiaire: batterie (+- sur 24h), pour sa propre production ou pour acheter au bon moment.

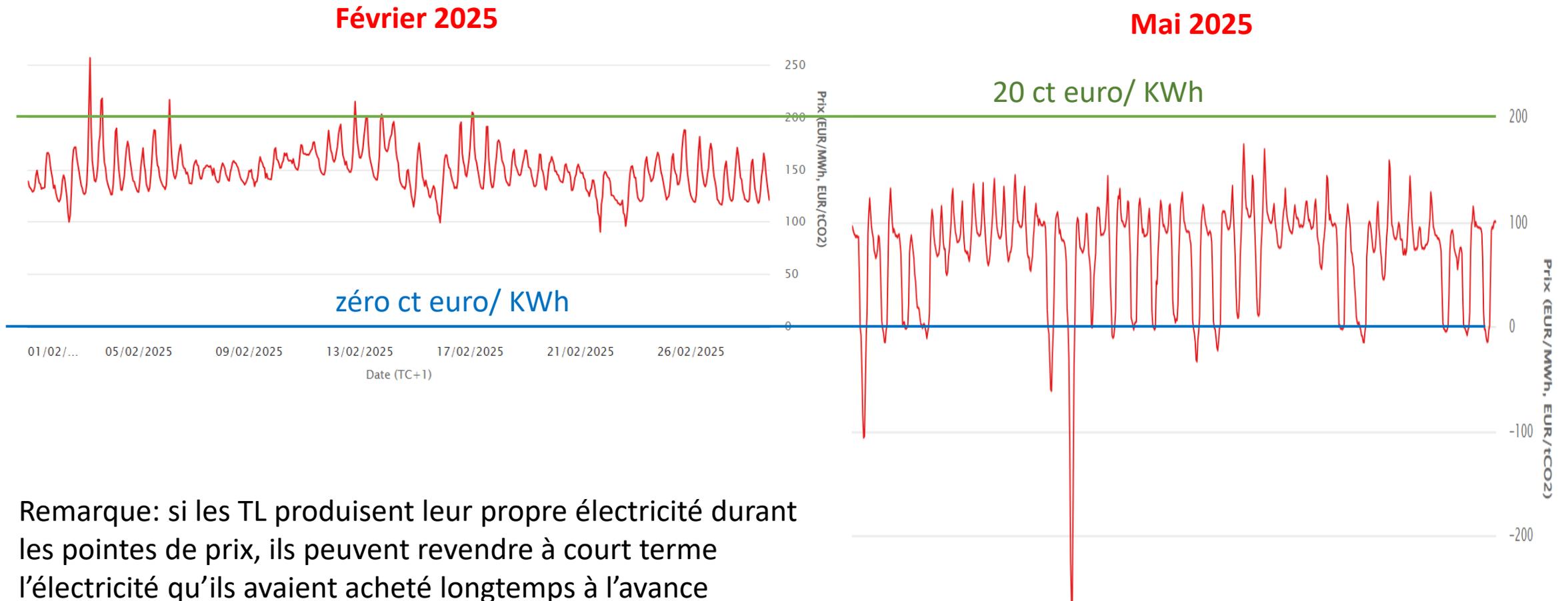
## L'exemple du tarif de réseau variable du Groupe e SA (pour l'instant seulement pour les petits clients, que le timbre de distribution, énergie fixe)

< 3 juin 2025 >



Calculé et annoncé à 11h la veille

# Prix de l'électricité (achat pour le lendemain)



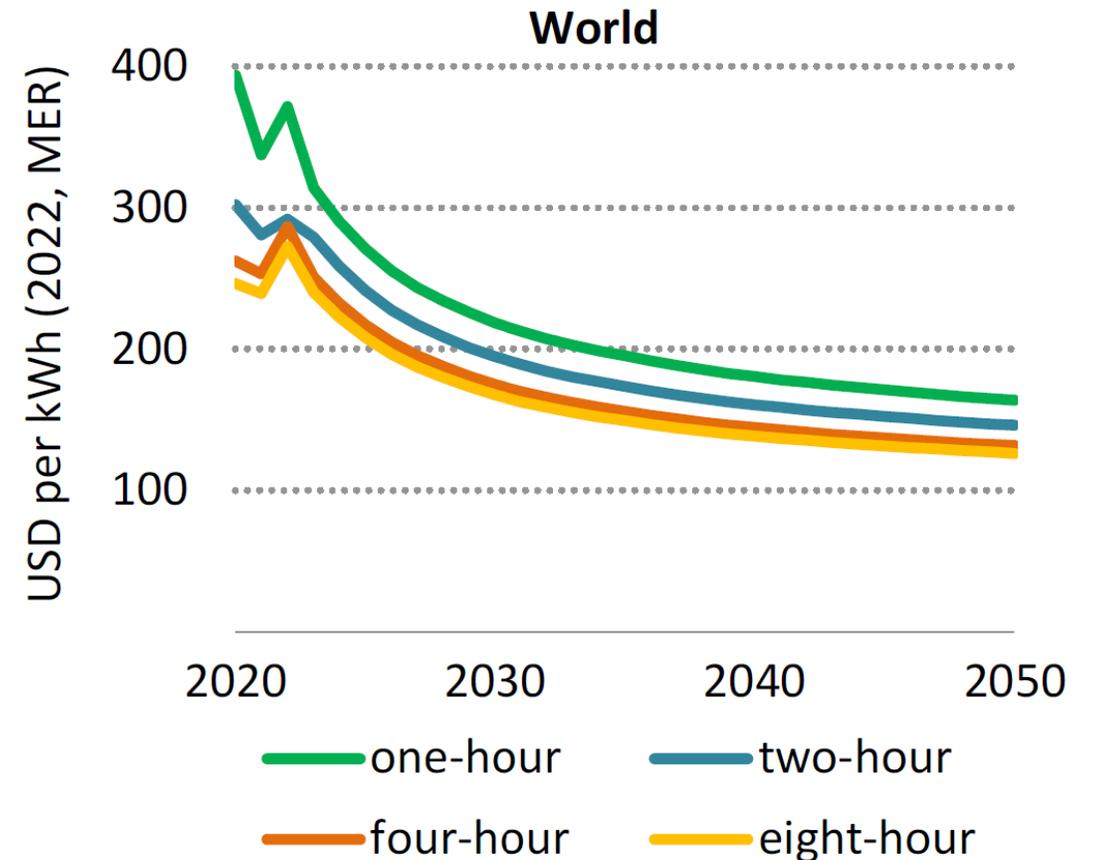
# Les batteries stationnaires



4 containers de 20 pieds = stockage tampon de la moitié de la conso quotidienne des trolleybus TL.  
Second life battery auto.  
En bout de lignes pour stocker le solaire en vue des pointes du matin et du soir?

(image: <https://libattion.com/fr/produits/>)

**Average total system capital costs of utility-scale batteries in the STEPS, 2020-2050**



<https://iea.blob.core.windows.net/assets/cb39c1bf-d2b3-446d-8c35-aae6b1f3a4a0/BatteriesandSecureEnergyTransitions.pdf>

# Back-up / pointe hivernale / tarif interruptible: Les possibilités du couplage chaleur-force (CCF)



Backup: gaz fossile

Pointe hivernale: Biogaz/E-methane/ H2 vert

Situé dans le dépôt:

Electricité → ligne aérienne

Chaleur: → chauffage du dépôt et alimentation du chauffage à distance.

(Soulage Tridel: moins chaudière d'appoint ou + électricité)

**Gas naturel ou hydrogène  
4,5 MW électrique**

**Efficacité électrique max = 47%  
Efficacité thermique max = 46%**

**Prix: environ 1 MCHF/MWeI  
Donc 5 millions**

# Un bref calcul pour le CCF

La machine 5 MW fonctionne au gaz fossile (=worst case)

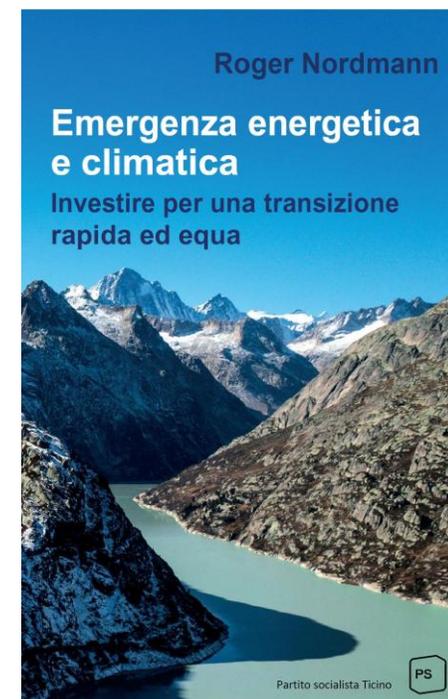
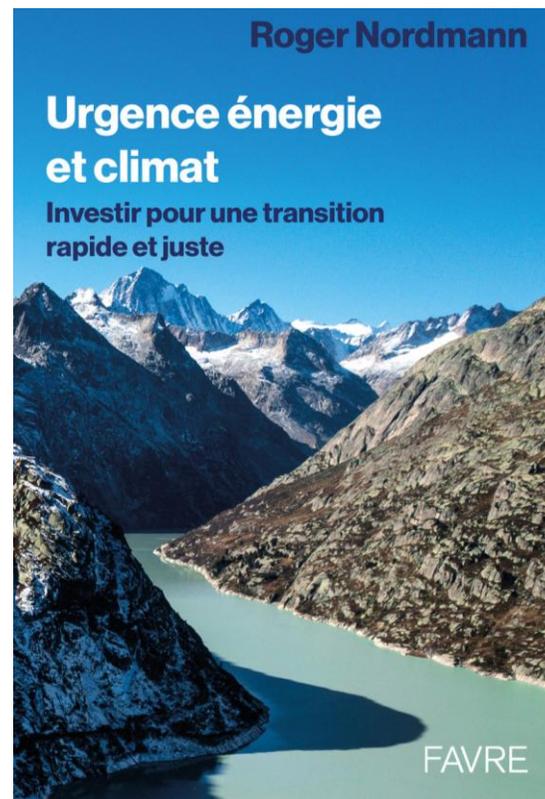
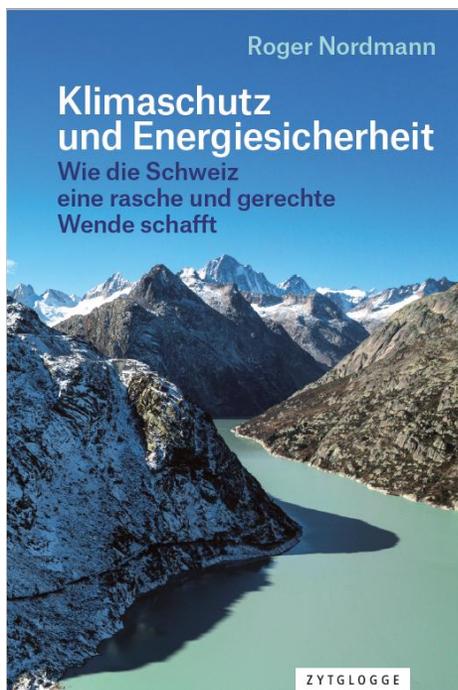
12 semaines d'hiver, 5 jours/sem., 10h/jour

600 h = 1/10 du temps d'exploitation, 1/6 des KM car heures de pointe hiver		
Production d'électricité	2700	MWh
Production de chaleur	2700	MWh
Consommation gaz	6000	MWh
Emissions de CO2	1209	to CO2
Évités dans chaudière CAD/prod additionnelle Tridel	-544	to CO2
<b>Emissions nettes additionnelles</b>	<b>665</b>	<b>to CO2</b>
Consommation gros trolleybus par KM, en hiver, environ	2,6	KWh
L'électricité ainsi produite permet de parcourir (un peu plus que prestation actuelle dans ces 600 h)	1 038 462	KM
<b>Emission de CO par KM</b>	<b>0,64</b>	<b>Kg CO2/KM</b>
<i>Emission de CO par KM bus articulé diesel 50 litres/100KM</i>	<i>1,3</i>	<i>Kg CO2/KM</i>

Si injection directement dans ligne aérienne:  
Ni timbre, ni taxe.  
Evt: 5 x 1MW au lieu de 1x 5 MW

+ Possibilité de biogaz, H2, E-Methane

Seulement pour 1/6 des KM  
5/6 des KM à l'électricité renouvelable.  
Donc sur l'année 0,12 KG/CO2 KM



**Le message du livre:  
Entre déni et désespoir, il existe un chemin rationnel**

# Slides de réserve