

# Climat-Énergie-Mobilités: quelques outils pour dépasser les tergiversations

# Comprendre le contexte

- Le temps: 2023-2025-2035-2040-2050
- Le climat et l'environnement
- L'énergie
- Les autres ressources
- La France, l'Europe
- La sobriété et son acceptabilité-désirabilité sociale
- Le coût complet d'usage
- L'acceptabilité-désirabilité sociale des solutions
- L'industrie: financement, compétences, reconversions et formations

## Connaître ou évaluer les ordres de grandeur

- **La contrainte climatique et l'impact des mobilités routières**

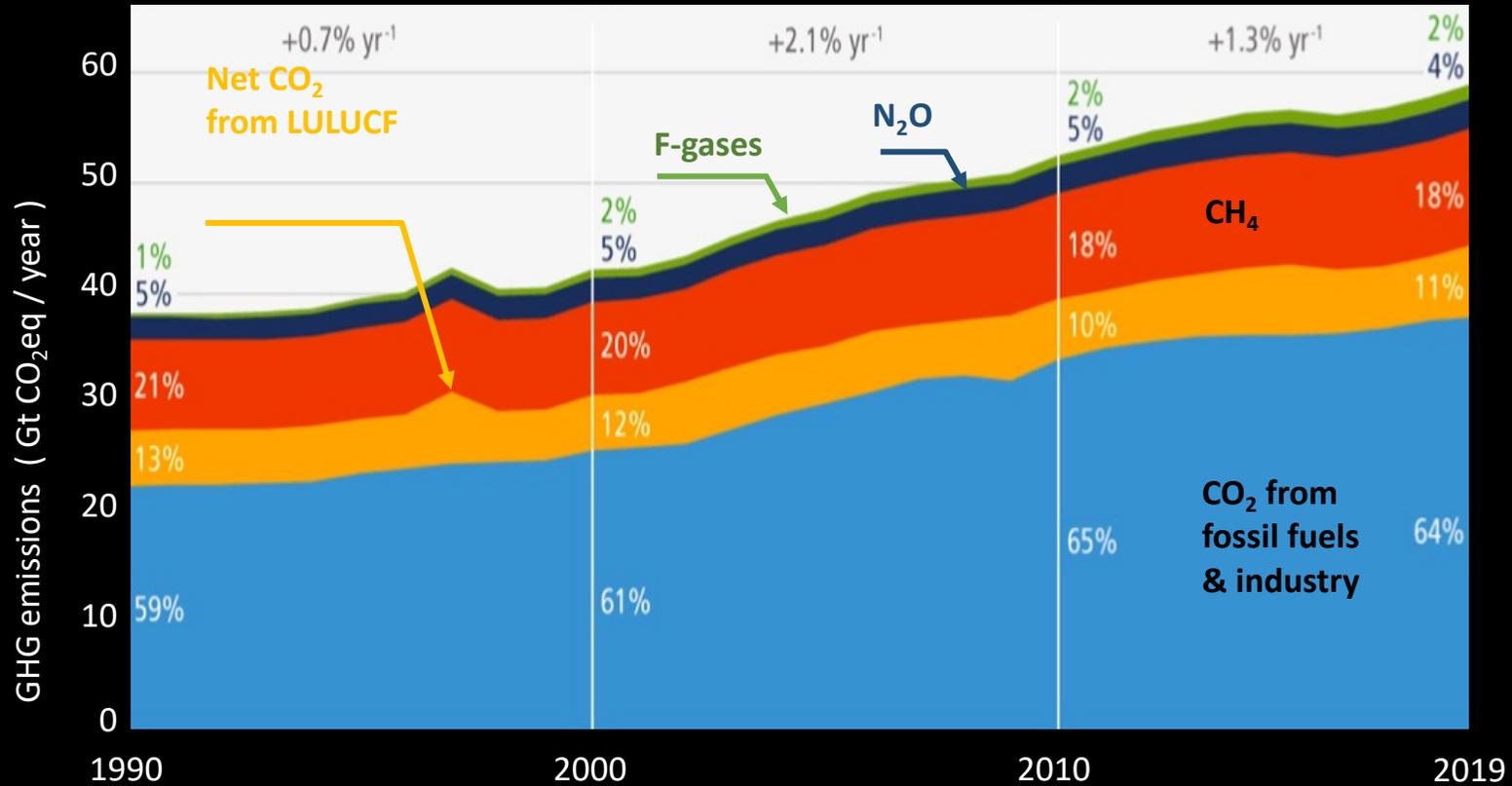
- Le contexte énergétique

- Solutions potentielles

- Véhicules électriques

- Outils

# Les Gaz à Effet de Serre (GES) dont le méthane



# L'urgence

Émissions mondiales nettes actuelles:

42 GtCO<sub>2</sub>/ an

« Crédit » pour rester sous +1,5°C :

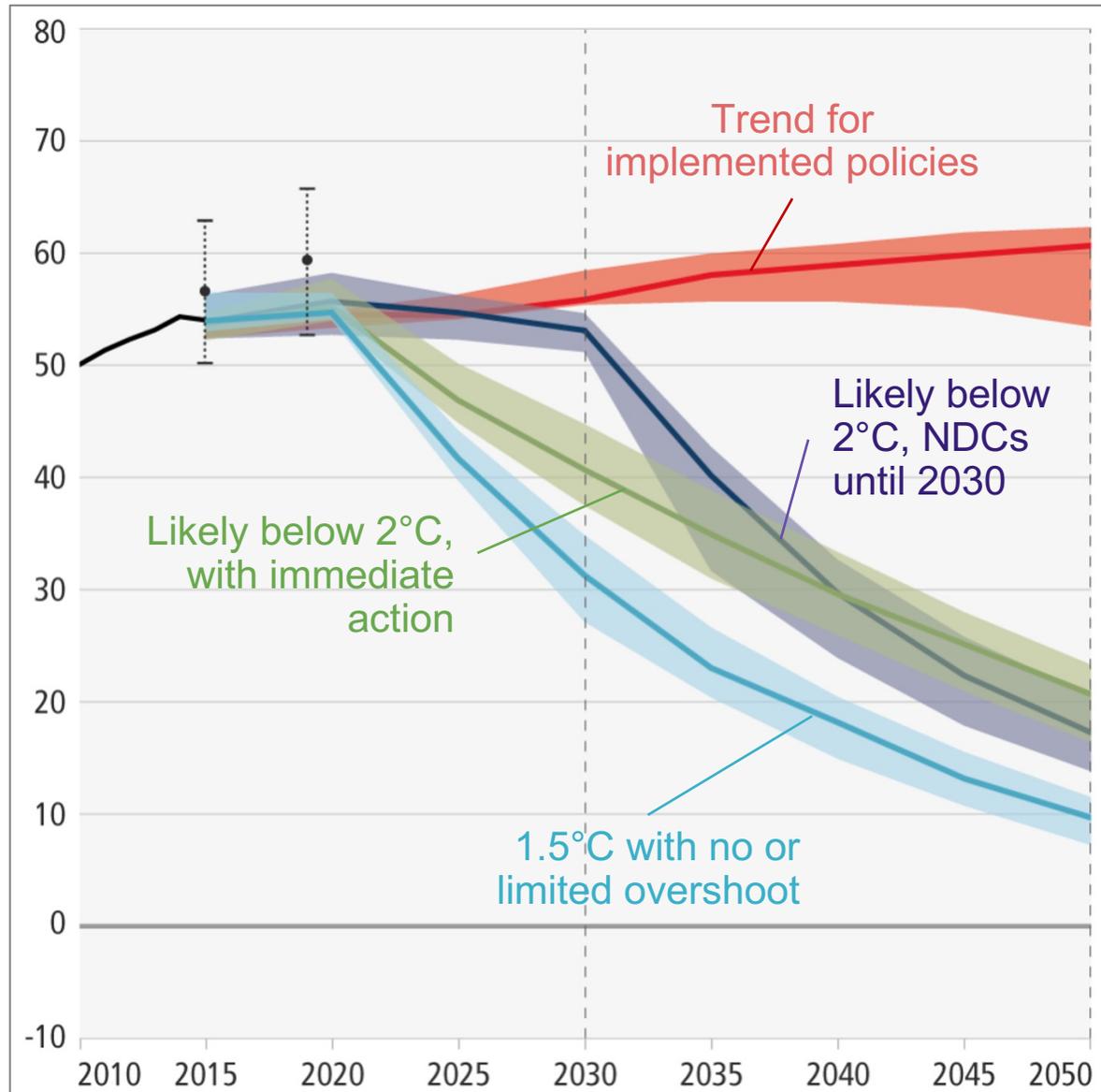
500 GtCO<sub>2</sub>eq

Source: 6<sup>ème</sup> rapport du GIEC

Être à zéro émissions nettes en 2050  
et émettre moins de 500 GtCO<sub>2</sub>eq  
d'ici là



# Il faut donc réduire vite les émissions de GES



Sixth Assessment Report  
WORKING GROUP III – MITIGATION OF CLIMATE CHANGE



## Limiting warming to 1.5 °C

- Global GHG emissions peak before 2025, reduced by 43% by 2030.
- Methane reduced by 34% by 2030

## Limiting warming to around 2°C

- Global GHG emissions peak before 2025, reduced by 27% by 2030.

(based on IPCC-assessed scenarios)

# De quoi parle-t-on ?

Émissions de CO<sub>2</sub> dues à la combustion d'énergie  
(Émissions de CO<sub>2</sub>)

Émissions de Gaz à Effet de Serre  
Émissions nettes de CO<sub>2</sub>

Empreinte Carbone (avec importations – exportations)



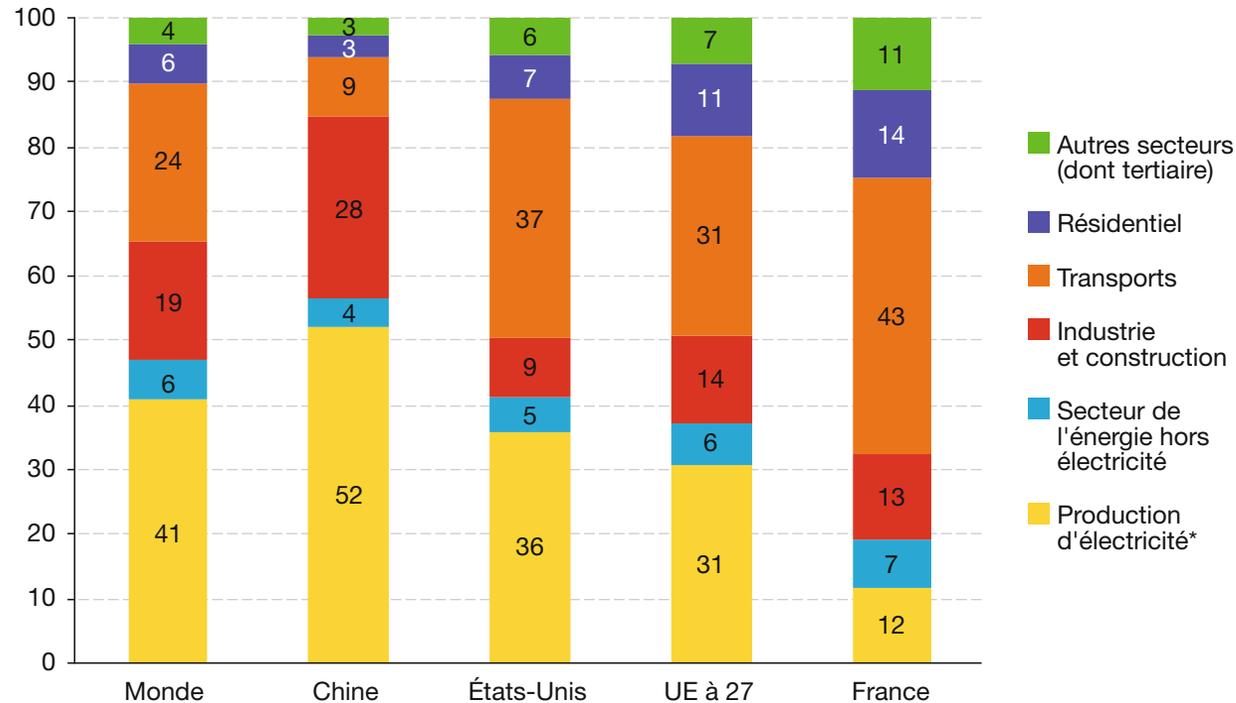
L'aviation et le maritime  
au départ de l'entité ne  
sont quelques fois pas  
comptés

# De quoi parle-t-on ?

## Répartition sectorielle des émissions de CO<sub>2</sub> dans le monde

ORIGINE DES ÉMISSIONS DE CO<sub>2</sub> DUES À LA COMBUSTION D'ÉNERGIE EN 2019

En %



\* Y compris cogénération et autoproduction.

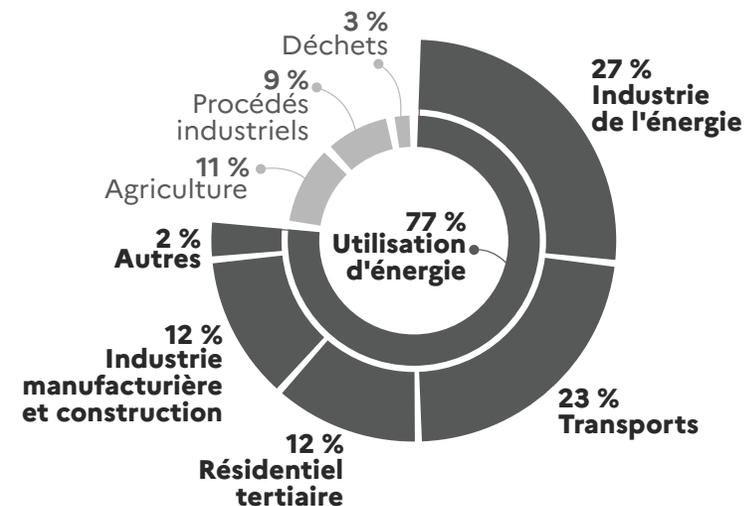
Source : AIE, 2021

Empreinte Carbone (GES) France: 445 MtCO<sub>2</sub>eq  
+188 importés moins exportés (2017)

Émissions de GES (CO<sub>2</sub> + CH<sub>4</sub> + N<sub>2</sub>O + gaz fluorés..)

## Gaz à effet de serre

Répartition des émissions de gaz à effet de serre, dans l'Union européenne

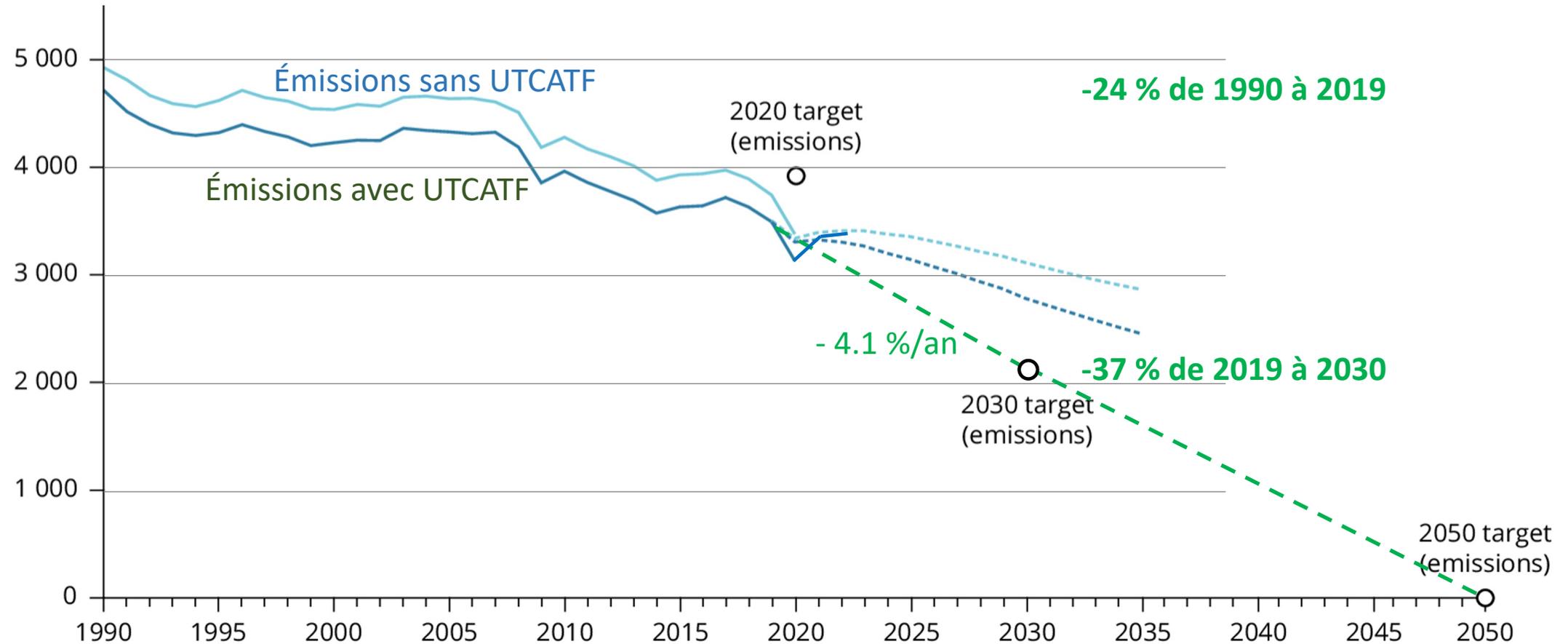


2019

Source: Chiffres clés du climat 2022

# Europe « Fit for 55 »: -55% de GES en 2030 /1990

Mt CO<sub>2</sub>eq



# Les mobilités routières en 2019

% des émissions nettes de gaz à effet de serre (GES)

**Monde: 10.5 %**

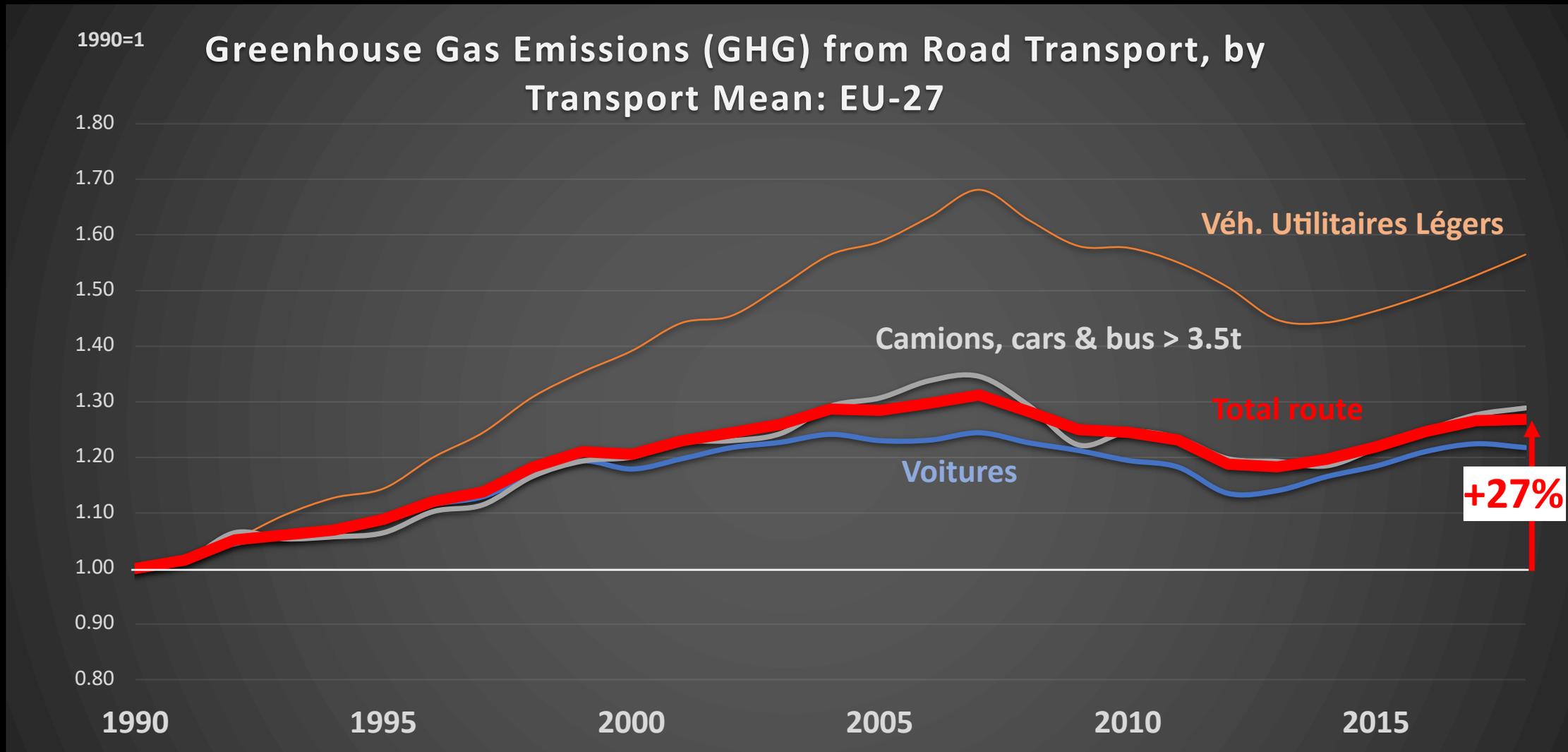
**Europe 27: 24 %**

Voitures 61 %

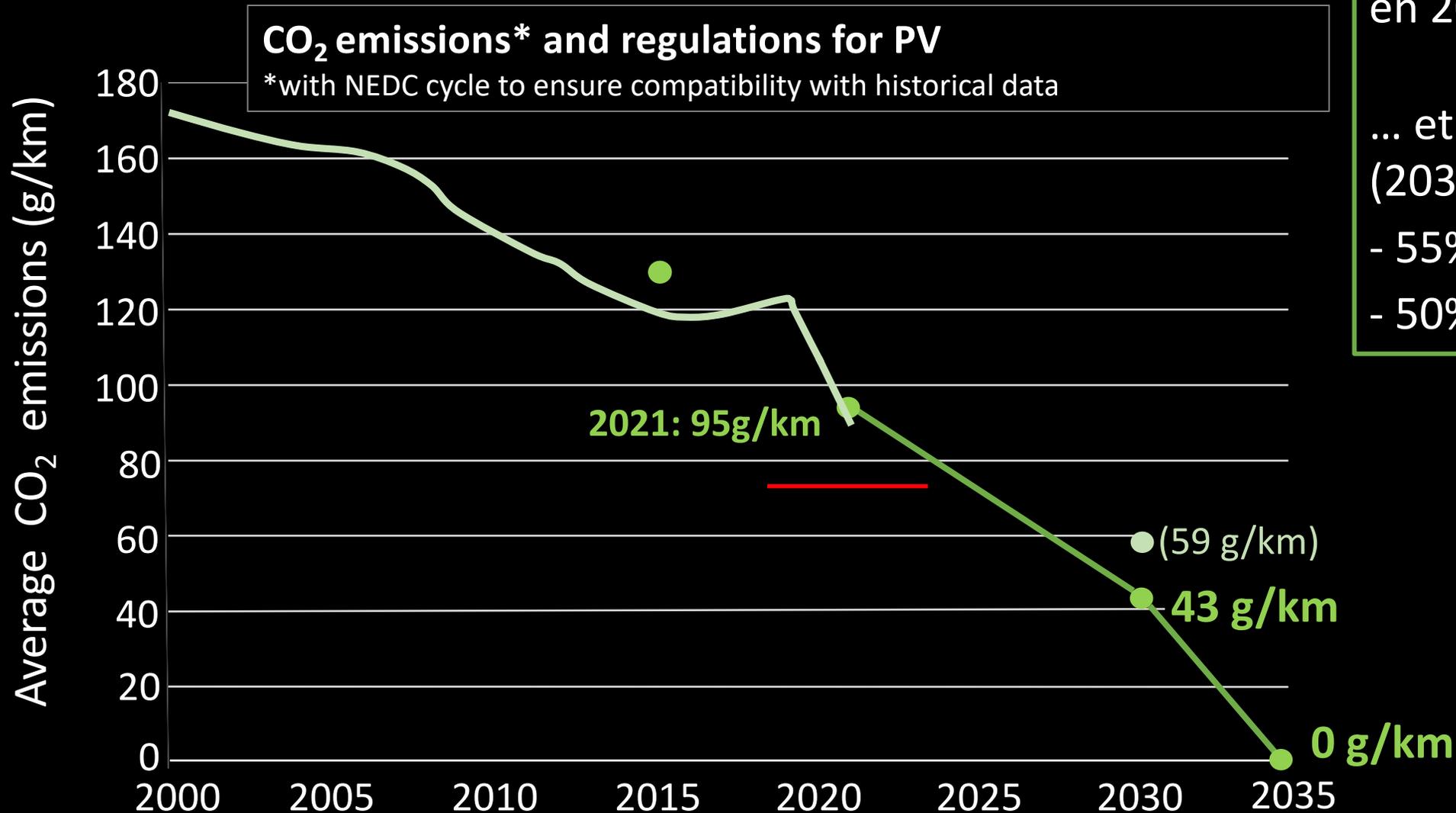
Véh.Utilitaires Légers 11 %

Poids lourds, cars & bus 27 %

# Les émissions des mobilités routières EU27



# L'Europe a donc réagi !

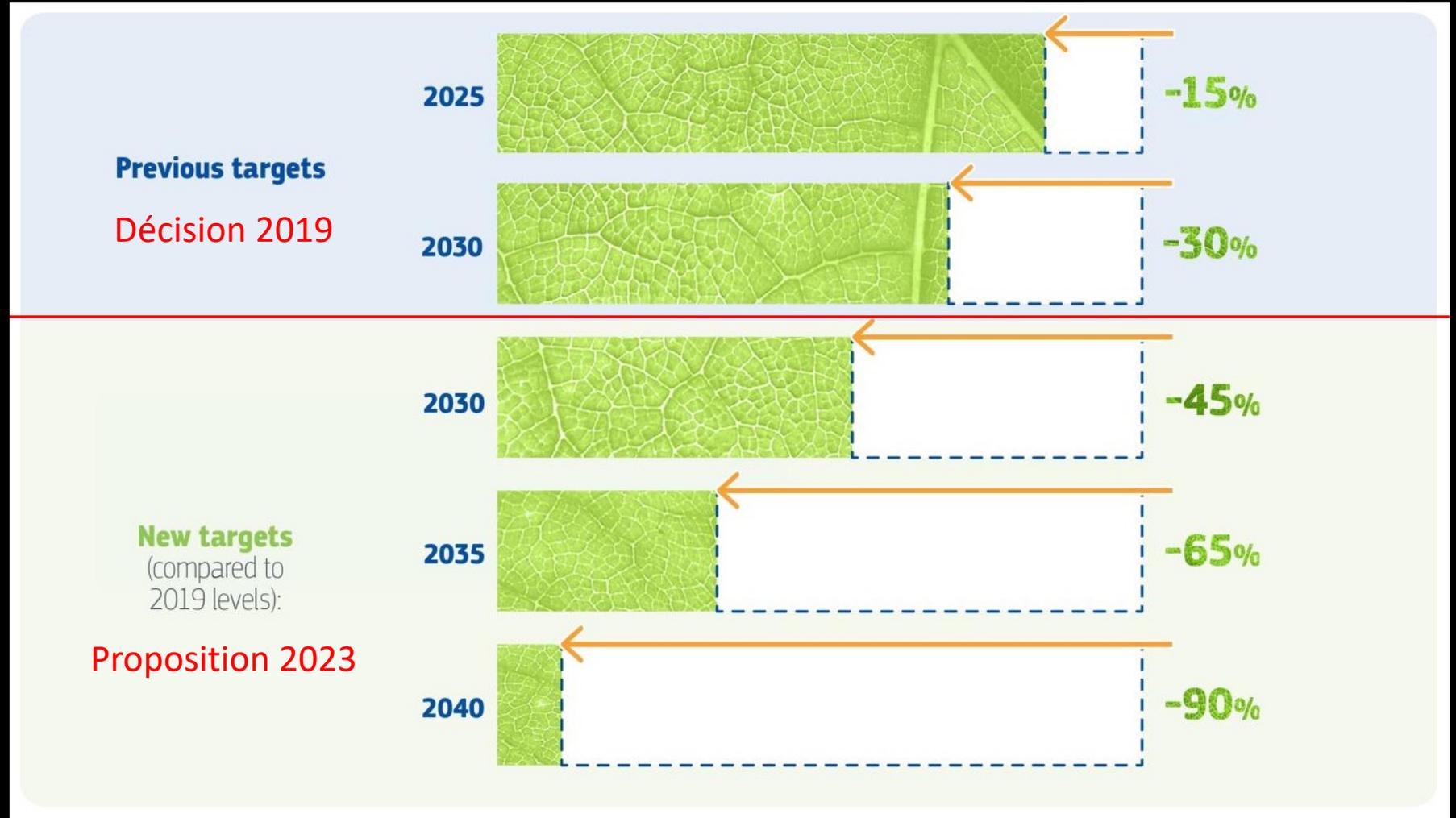


“Fit for 55”: - 55% des émissions de l'EUROPE en 2030 / 1990

... et pour la route (2030/2021) :  
- 55% pour les VPs  
- 50% pour les VUL

# Pour les camions, bus et cars >3.5t

La Commission  
a proposé:  
(Janvier 2023)



# La route reste incontournable

| Mobilité des...                    |             | France |       | EU28  |       |
|------------------------------------|-------------|--------|-------|-------|-------|
|                                    |             | 2011   | 2019  | 2011  | 2019  |
| <b>Personnes</b><br>(voyageurs.km) | Rail        | 9.3%   | 10.3% | 7.4%  | 8.1%  |
|                                    | Bus, Cars.. | 5.4%   | 6.4%  | 9.6%  | 8.8%  |
|                                    | Voitures    | 85.3%  | 83.3% | 83.0% | 83.2% |
| <b>Marchandises</b><br>(t.km)      | Rail        | 10.8%  | 10.2% | 18.7% | 17.8% |
|                                    | Fluvial     | 2.9%   | 2.4%  | 6.3%  | 5.6%  |
|                                    | Route       | 86.3%  | 87.4% | 75.0% | 77.4% |

Source: Modal splits of passenger transport and freight transport, Eurostats 2022

# Une approche simple du potentiel des changements modaux sur les émissions CO<sub>2</sub>

## Les déplacements en commune centre (v.km)

44% de la marche à pied en France

28% du vélo

14% des TC

**5% de la voiture**

7% des v.km au total

( 28% de la population > 6 ans )

## Si ... % des déplacements en voiture (en v.km)

- 100% ..... de moins de 5 km

- 50% ..... de 5 à 10 km

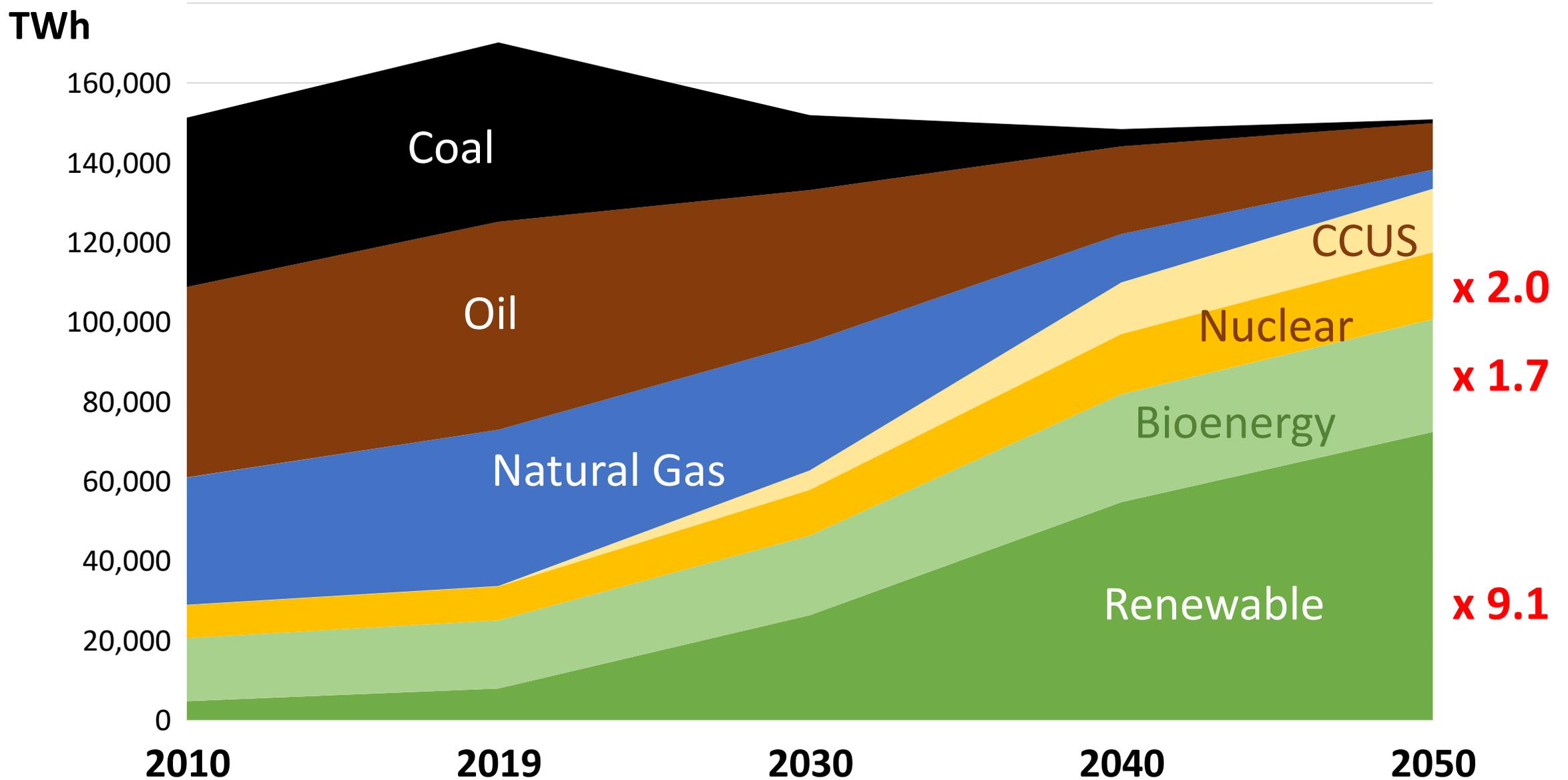
- 10% ..... de 10 à 20 km

**.. se faisaient en marchant, en vélo, ou en TC**

on réduirait les émissions CO<sub>2</sub> de **17%** (en supposant 100% de véh. thermiques)

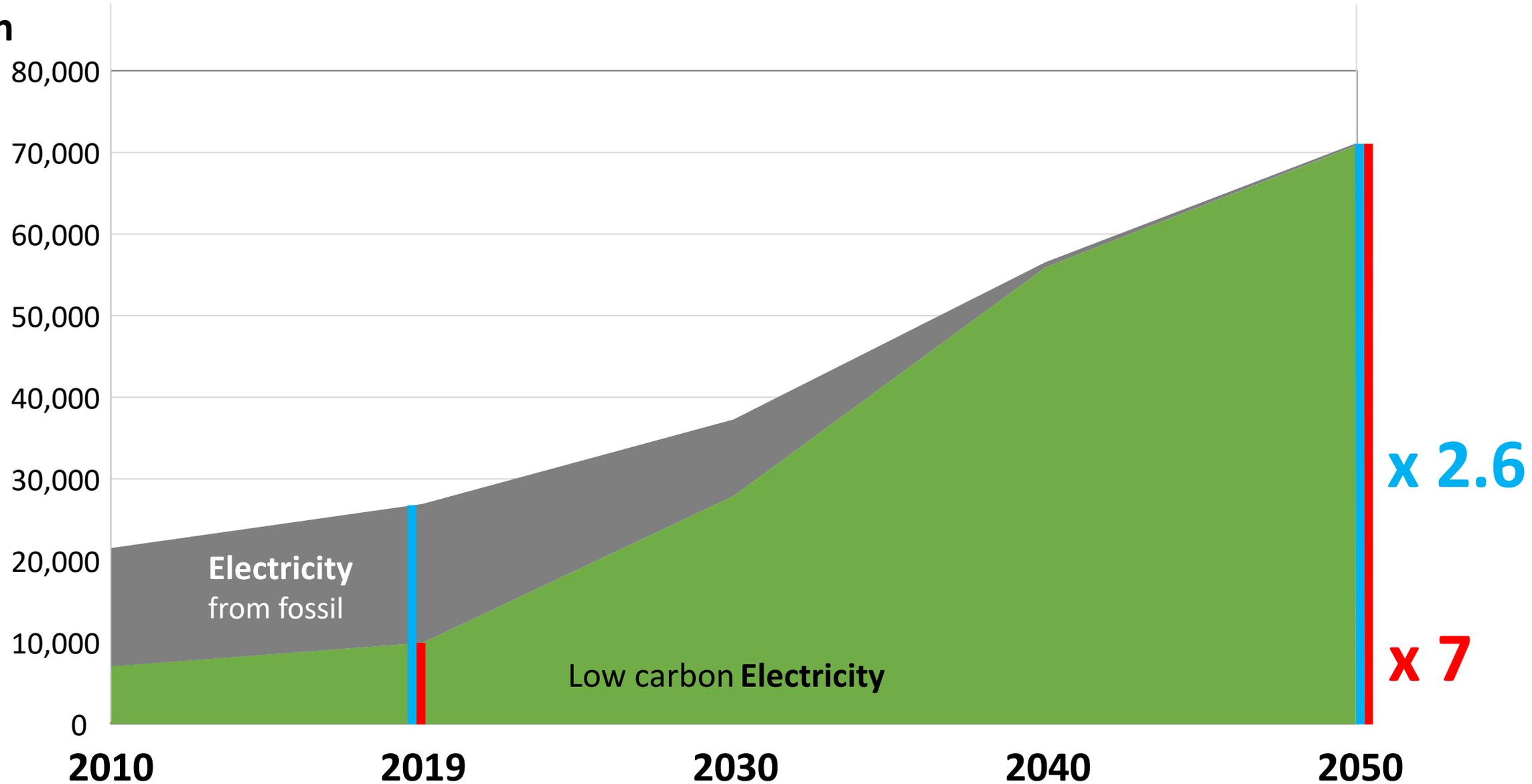
- La contrainte climatique et l'impact des mobilités routières
- **Le contexte énergétique**
- Solutions potentielles
- Véhicules électriques
- Outils

# Global energy supply (w-w IEA "Net zero scenario")



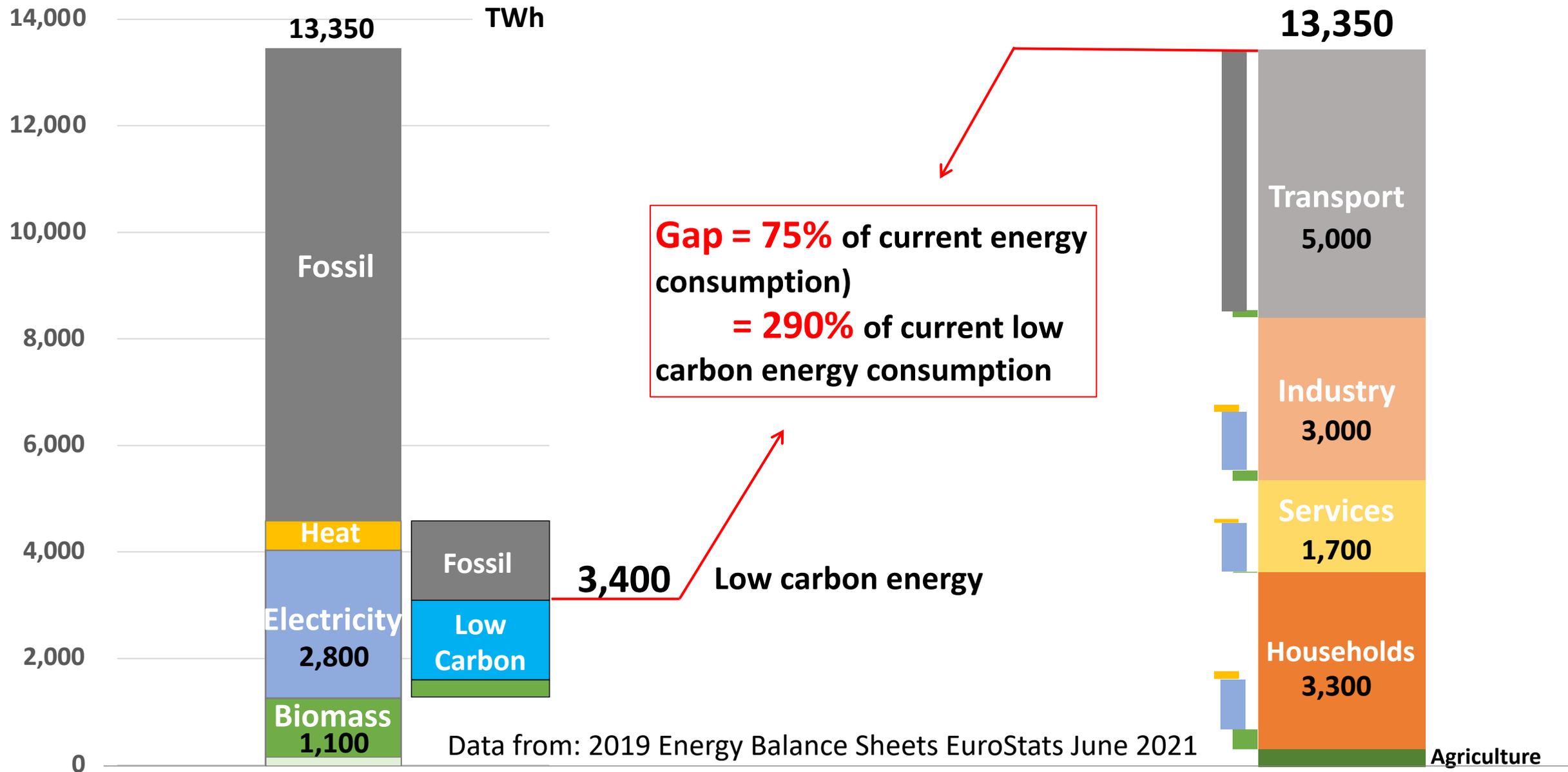
# Electricity generation (w-w, IEA "Net zero scenario")

TWh



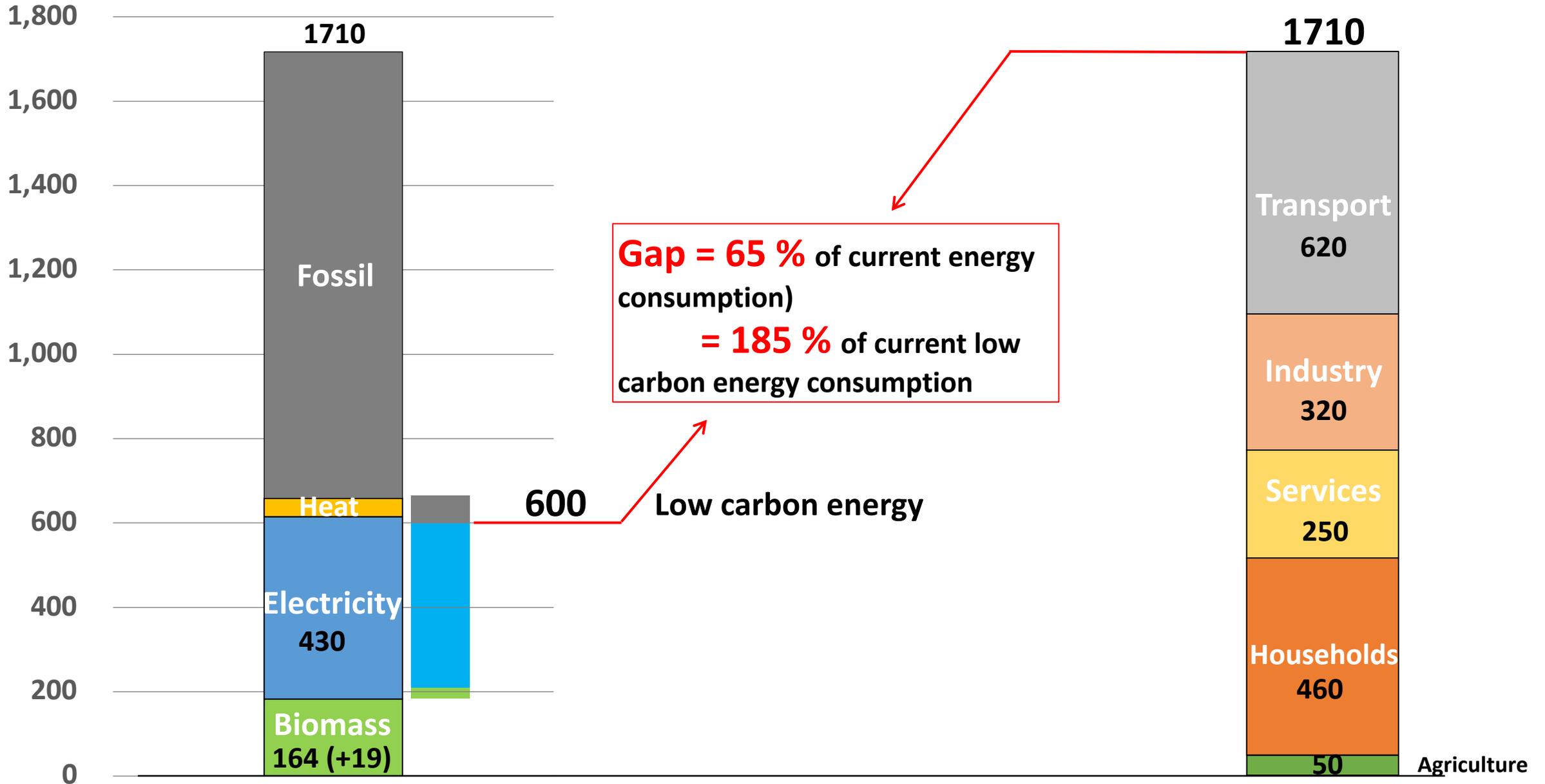
# Final energy consumption 2019 EU28

All figures are  
in TWh



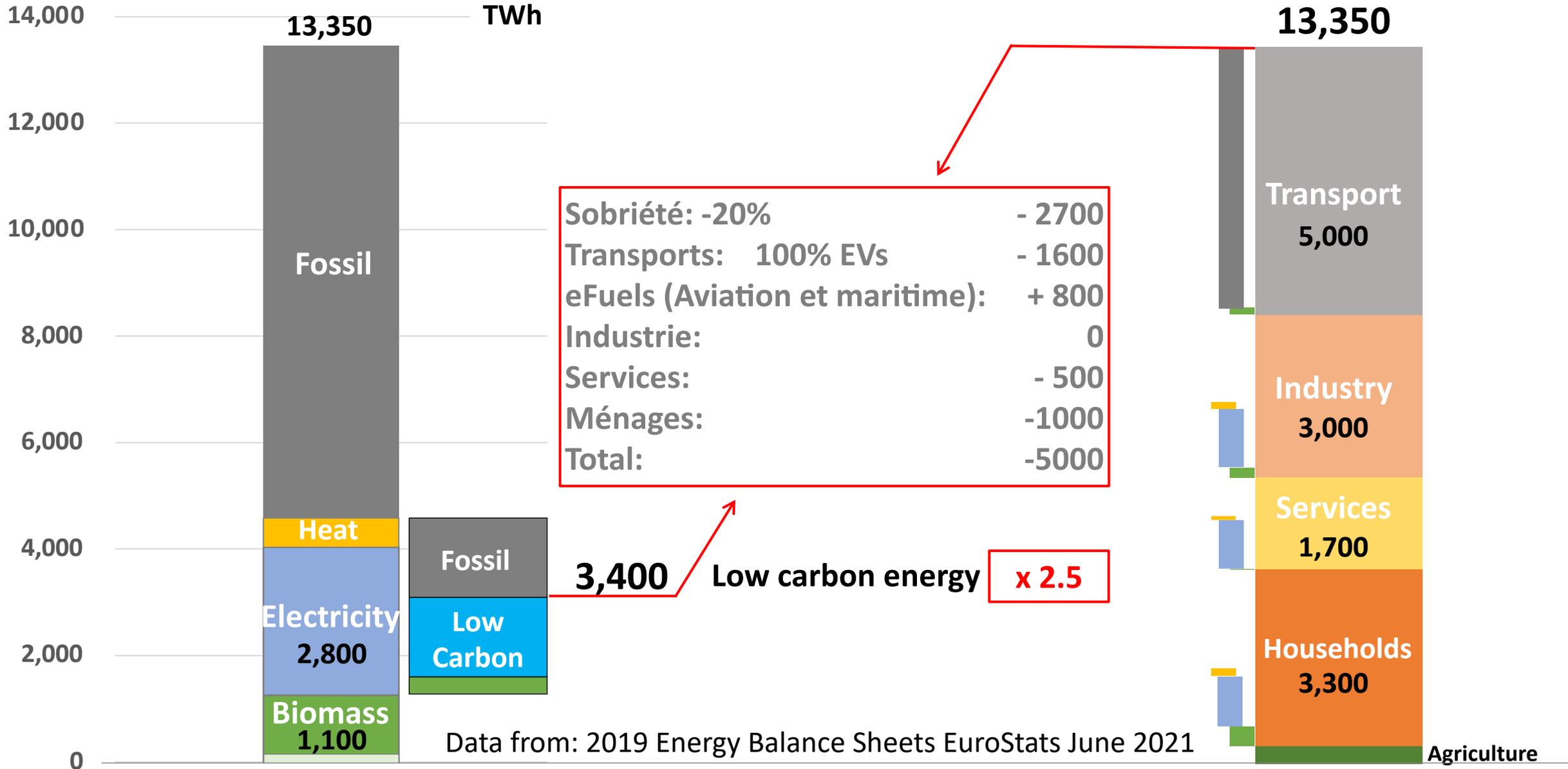
# Final energy consumption 2019 FRANCE

All figures are  
in TWh

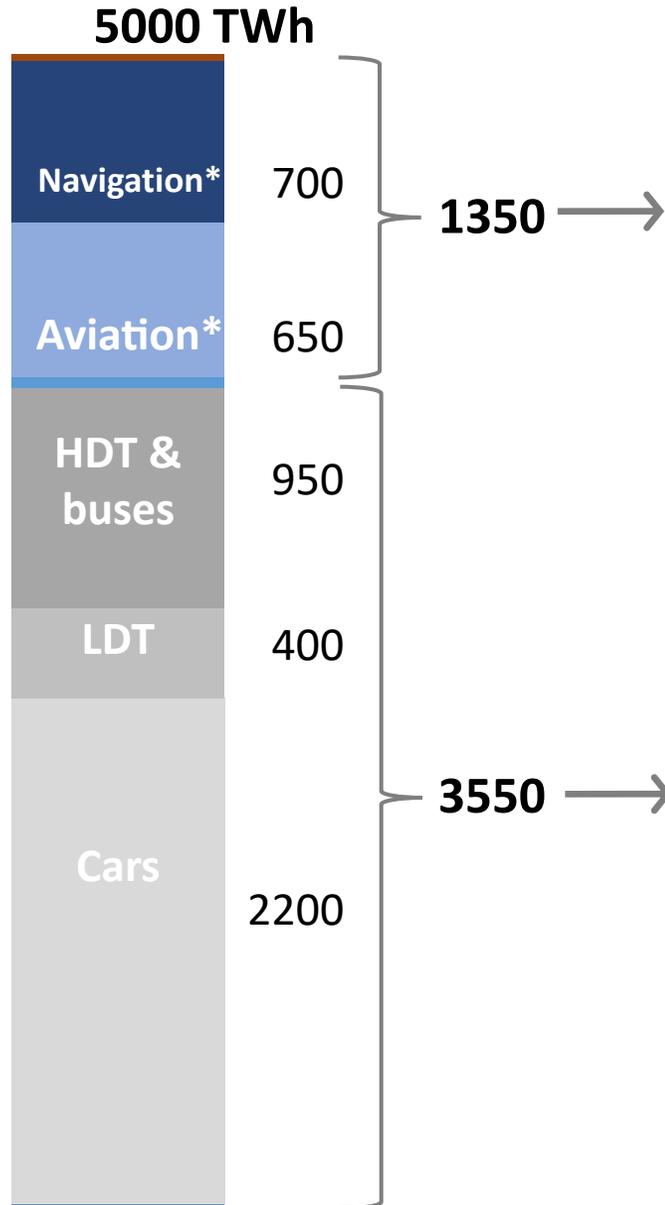


# Final energy consumption 2019 EU28

All figures are in TWh



# Used energy in different scenarios



- 100% biofuel (SAF & Biodiesel) : **2600 TWh of biomass**
- 100% ebiofuel (SAF & Biodiesel) : **≈ 2000 TWh** incl. **1300 TWh of biomass**  
**700 TWh of electricity** (H<sub>2</sub> from electrolysis),  
*(200 if from plasmalyse)*
- 100% eFuel (SAF & Biodiesel) : **2300 TWh of electricity** (DAC & H<sub>2</sub> from electrolysis) *(x+700 if from plasmalyse)*
- 100% electric: **1500 TWh of electricity** incl. Long haul freight: **300 TWh)**
- if biofuel for long haul **≈ 550 TWh of biomass**
- If H<sub>2</sub> for long haul **≈ 650 to 850 TWh of electricity**(electrolysis)

- La contrainte climatique et l'impact des mobilités routières
- Le contexte énergétique
- **Solutions potentielles**
- Véhicules électriques à batterie
- Outils

# Europe: “a fuel is sustainable if GHG saving is...”

## Directive RED II

**Sustainability Criteria and GHG Assessment:** Like the 2009 RED and FQD, RED II defines a series of sustainability and GHG emission criteria. Some criteria are inherited from the original RED, while others are new or reformulated. RED II introduces sustainability and GHG requirements for solid and gaseous biomass fuels used to produce power, heating, and cooling, “referred to as bioenergy,” in addition to conventional transport biofuels. GHG emissions savings requirements for transport biofuels and bioenergy are listed below.

Greenhouse gas savings thresholds for transportation biofuels and for solid and gaseous biomass producing power, heating, and cooling

| Valid for plants entering into operation | Transport biofuels | Transport renewable fuels of non-biological origin | Electricity heating and cooling |
|--|--------------------|--|---------------------------------|
| Before October 2015                      | 50%                | *  | *                               |
| After October 2015                       | 60%                | *  | *                               |
| After January 2021                       | 65%                | 70%  | 70%                             |
| After January 2026                       | 65%                | 70%  | 80%                             |



# Solutions potentielles

**Biodiesel**

**Biométhane**

**Hybride rechargeable avec biodiesel / biométhane**

**Hydrogène (pile à combustible ou combustion)**

**E-fuels**

**Électrique à batterie**

# Solutions potentielles

2023-2035

2035-2050

## **Biodiesel :**

- 45% CO<sub>2</sub>eq/km / diesel.

Transition  

Long terme 

## **Biométhane :**

-90% CO<sub>2</sub>eq/km / diesel

mais 3% de fuites élimine tout bénéfice (CH<sub>4</sub> GWP<sub>25</sub> effect). 

mais la concurrence d'usage déjà évoquée..

Transition 

Long terme 

## **Hybride rechargeable & biocarburant**

Transition  Long terme 

Bon pour voitures et camions en usage urbain, à la condition d'une recharge systématique, mais cher.

## **Impact négatif pour le fret longue distance**

Transition  Long terme 

# Solutions potentielles

Biodiesel

Biométhane

Hybride rechargeable avec biodiesel / biométhane

**Hydrogène (pile à combustible ou combustion)**

E-fuels

Électrique à batterie

# Solutions possibles avec H<sub>2</sub> issu de ..

2023-2035

2035-2050

## Vaporéformage du méthane (SMR) :

mais émissions WtW > 100 gCO<sub>2</sub>/km (voiture H<sub>2</sub>)  
autres process > 130 and 200 gCO<sub>2</sub>/km

Transition **X**

Long terme **X**

## SMR + Carbon Capture & Sequestration

Transition **✓**

Long terme **✓**

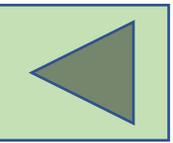
## Électrolyse avec électricité décarbonée :

nécessite ≈ 2.8 à 3 fois plus d'électricité décarbonée que BEV (2.1 à terme)

Transition **X**

Long terme **?**

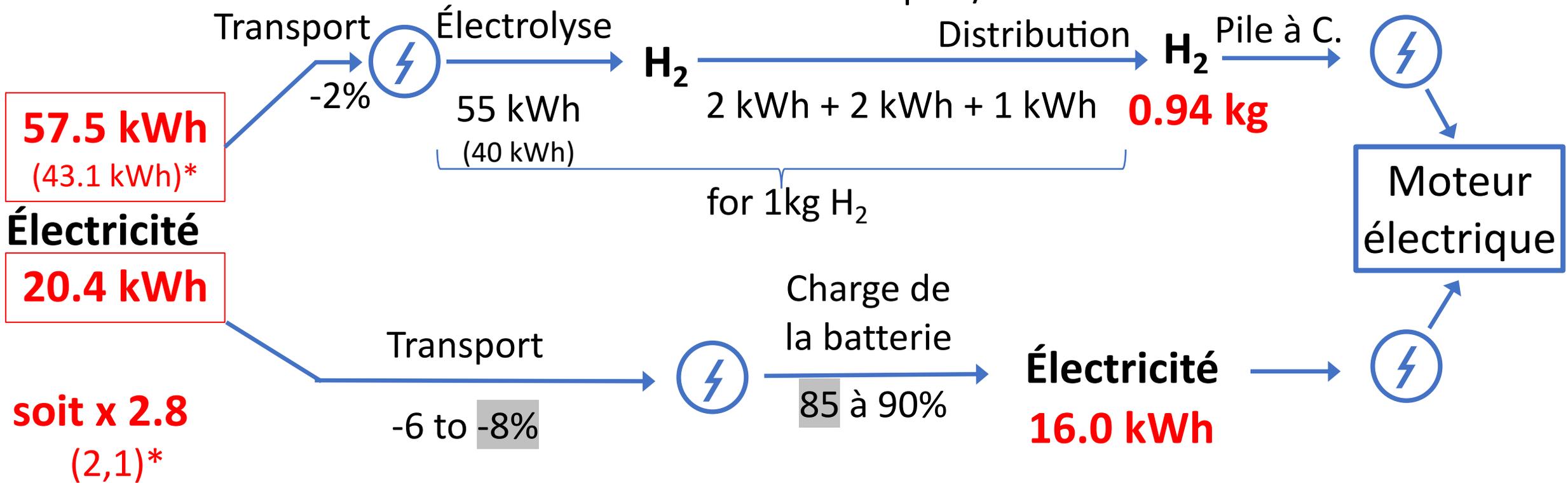
# Comparaison VE H<sub>2</sub> (issu d'électrolyse)/ VE Batterie



Mirai / Model 3 on 100 km (WLTP)

**Hypothèse : pas de fuite**

Compression/  
Transport/  
Distribution



|  |       |             |
|--|-------|-------------|
| Toyota Mirai: 0.94 kg H <sub>2</sub> /100km, 1850 kg | range | 650 km WLTP |
| Tesla Model 3 long range: 16.0 kWh/100km 1980kg      |       | 560 km WLTP |

\* Électrolyse à haute température (Pilot plant en 2030)

# Solutions possibles avec H<sub>2</sub> issu de ..

2023-2035

2035-2050

**Vaporéformage du méthane (SMR) :**

mais émissions WtW > 100 gCO<sub>2</sub>/km (voiture H<sub>2</sub>)  
autres process > 130 and 200 gCO<sub>2</sub>/km

Transition  Long terme 

**SMR + Carbon Capture & Sequestration**

Transition  Long terme 

**Électrolyse avec électricité décarbonée :**

nécessite ≈ 2.8 à 3 fois plus d'électricité décarbonée que BEV (2.1 à terme)

Transition  Long terme 

**Thermolyse + vapocraquage de la biomasse:** Transition  Long terme 

excellente empreinte carbone du puits à la roue. disponibilité de la biomasse.

a besoin de passer à une échelle industrielle et de s'installer là où est la biomasse

**Torche à plasma (R&D)**

Transition  Long terme 

# Solutions potentielles

Biodiesel

Biométhane

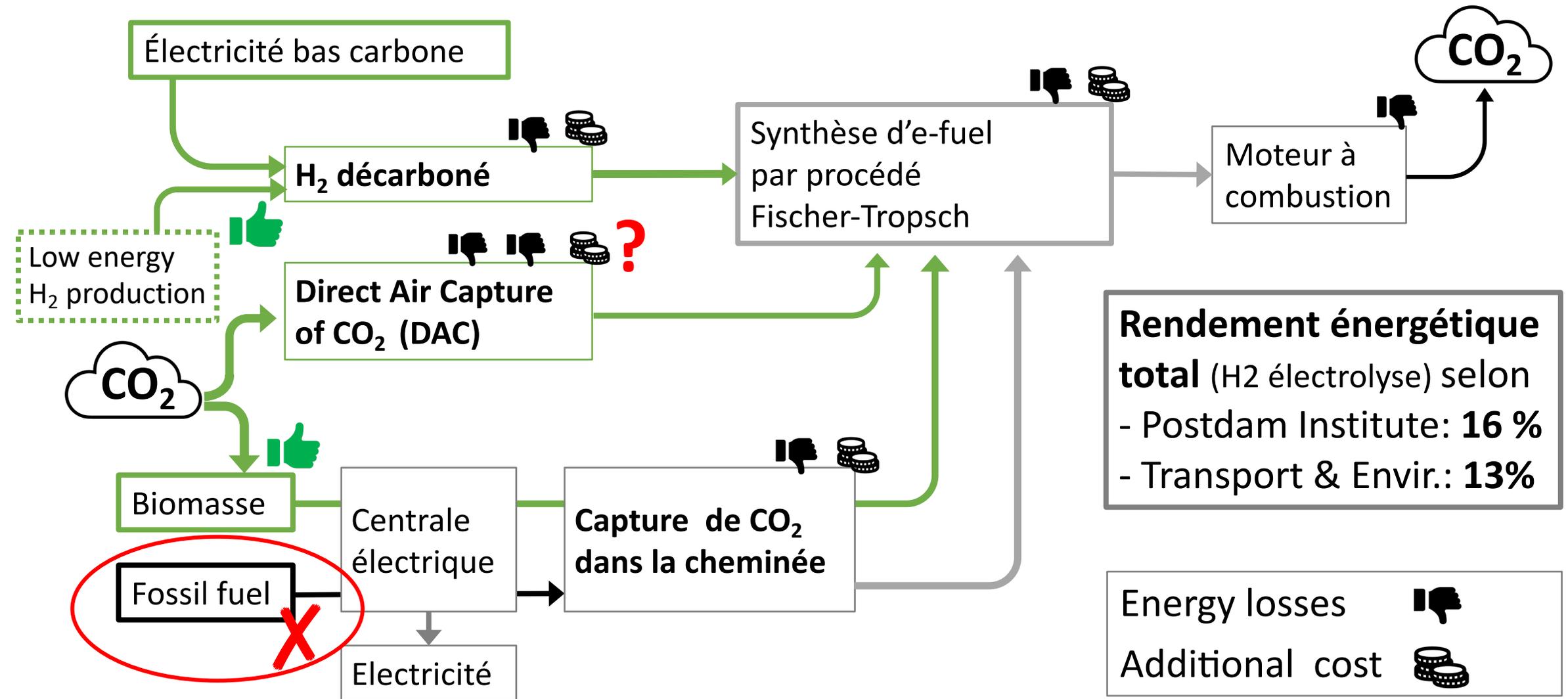
Hybride rechargeable avec biodiesel / biométhane

Hydrogène (pile à combustible ou combustion)

## **E-fuels**

Électrique à batterie

# e-Fuel décarboné: un rendement 1/4 à 1/5 d'un VE



# Solutions possibles pour les e-fuels..

**Compétition pour les e-fuels:** aviation, fret routier longue distance  
(avec CO<sub>2</sub> issu de l'atmosphère ou de la biomasse)

2023-2035

2035-2050

**+ H<sub>2</sub> issu d'électrolyse**

rendement énergétique 11-14%

Transition **X** Long terme **?**

**+ H<sub>2</sub> issu de SMR + CCS**

Transition **X** Long terme **?**

**+ H<sub>2</sub> issu de biomasse / torche à plasma** Transition **X** Long terme **?**

# Solutions potentielles en résumé

**Biodiesel :**

**Biométhane :**

**Hybride rechargeable & biocarburant  
Électrique-hydrogène avec..**

Vaporéformage du méthane (SMR) :

SMR + Carbon Capture & Sequestration

Électrolyse avec électricité décarbonée

Thermolyse + vapocraquage de la biomasse

Torche à plasma (R&D)

**E-fuel**

avec H<sub>2</sub> issu d'électrolyse

avec H<sub>2</sub> issu de SMR + CCS

avec H<sub>2</sub> issu de biomasse / torche à plasma

2023-2035

Transition  ?

Transition  ?

Transition 

Transition 

Transition 

Transition 

Transition 

Transition 

Transition 

Transition 

Transition 

2035-2050

Long terme 

Long terme 

Long terme  ?

Long terme 

Long terme 

Long terme 

Long terme 

Long terme 

Long terme 

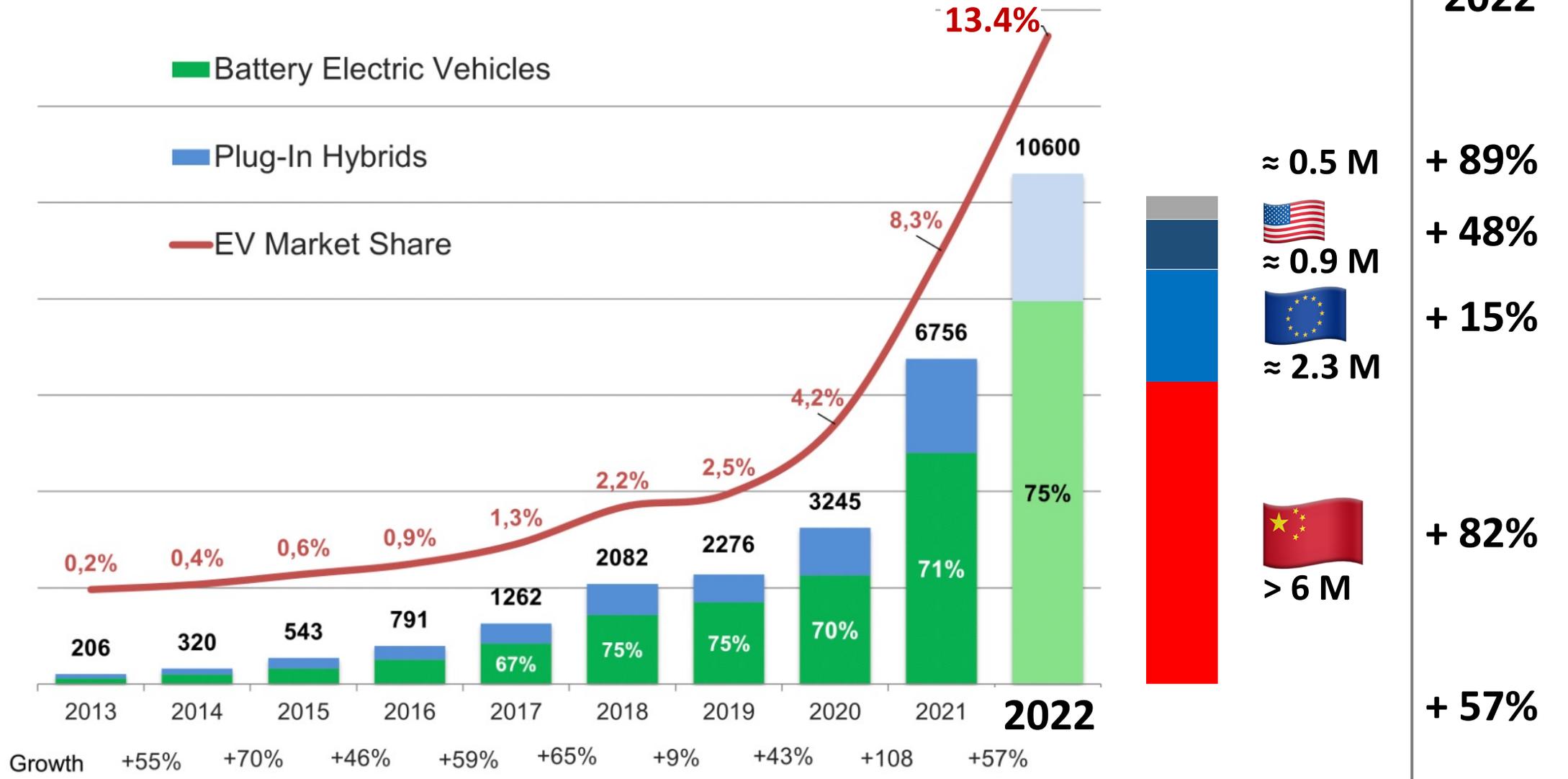
Long terme 

Long terme 

- La contrainte climatique et l'impact des mobilités routières
- Le contexte énergétique
- Solutions potentielles
- **Véhicules électriques**
- Outils

# La solution qui a décollé: le véhicule électrique

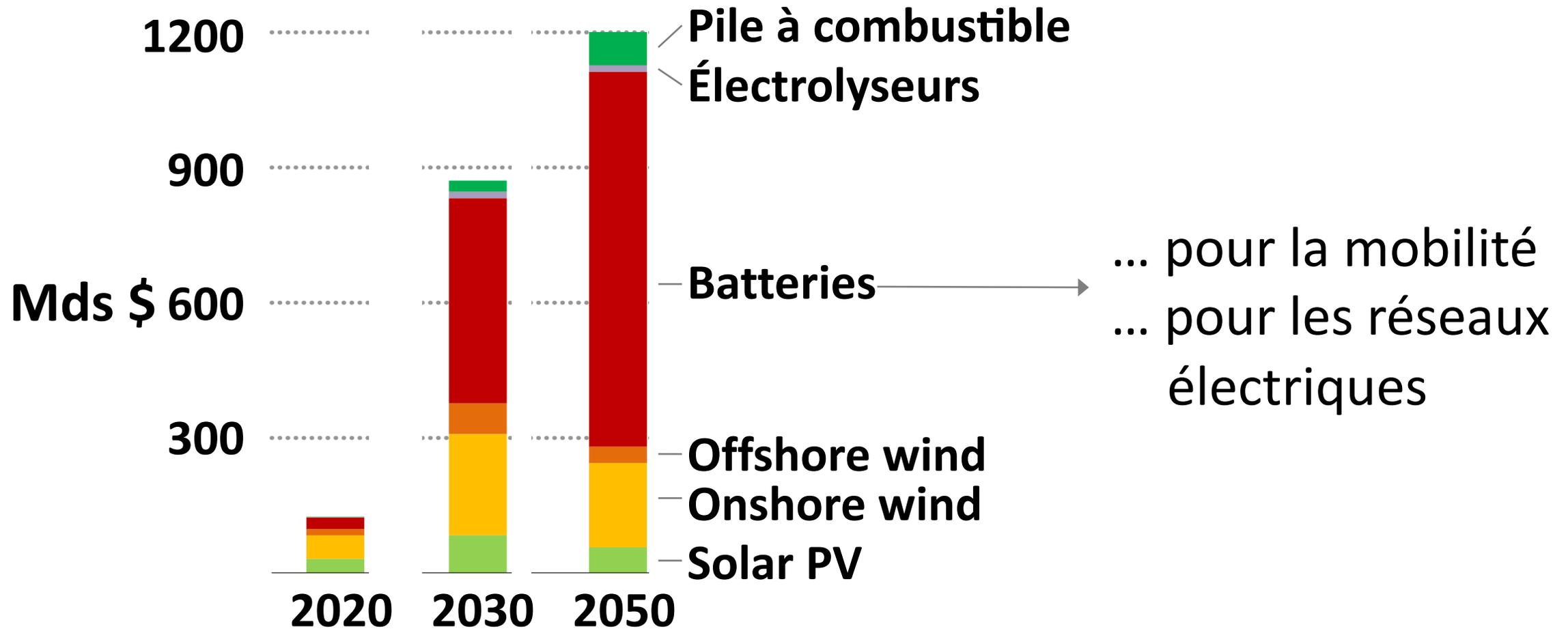
Ventes mondiales de VEs + VHRs 2012 – 2022e



Source: EV Volumes

# Taille des marchés pour quelques technologies vertes

estimée par l'AIE dans son scénario « net zero emissions by 2050 »



Source: IEA « World Energy Outlook 2021 » p 30

# Les points soulevés concernant les VEs

- Performance des batteries (densité massique, vitesse de recharge, durabilité)
- Environnement dont l'empreinte carbone
- Recyclage
- Disponibilité des Lithium, Nickel, Cobalt
- Infrastructure de recharge
- Prix des voitures

# Les batteries évoluent vite mais...

|  | Aujourd'hui          |         | Visible 2025            |           | 2030             |                               |
|--|----------------------|---------|-------------------------|-----------|------------------|-------------------------------|
|  | NMC<br>6.2.2 & 7.1.2 | LFP     | NMC 8.1.1<br>ou 85/10/5 | LFP       | NMC<br>évolution | Solid State<br>anode Li métal |
| Densité massique cellule<br>(Wh/kg)                                  | 270                  | 170     | 300+                    | 200+      | 350              | (450)                         |
| Densité massique pack<br>(Wh /kg)                                    | 170                  | 140     | 240                     | 160+      | ?                | (380)                         |
| Vitesse de recharge<br>(pour 80% de la capacité)                     | 30-40 min            |         | 20 min                  |           | 15 min           | (20 min)                      |
| Durabilité<br>(Nb de cycles 1C/1C avec<br>capacité résiduelle > 75%) | 2,000                | ≈ 4,000 | 1,800                   | ?         | 1,200 ?          | 2,000                         |
| Coût du pack (\$/ kWh)   | 120 \$               | < 120\$ | 100\$ ?                 | 60-70\$ ? | 80\$??           | (>100\$)                      |

# Life cycle CO<sub>2</sub>eq emissions of a battery

60 kWh battery production from mining to recycling  
« fully depreciated » over 150,000 km)



**100 kg CO<sub>2</sub>eq / kWh : 6.0 t et 40 g/km**

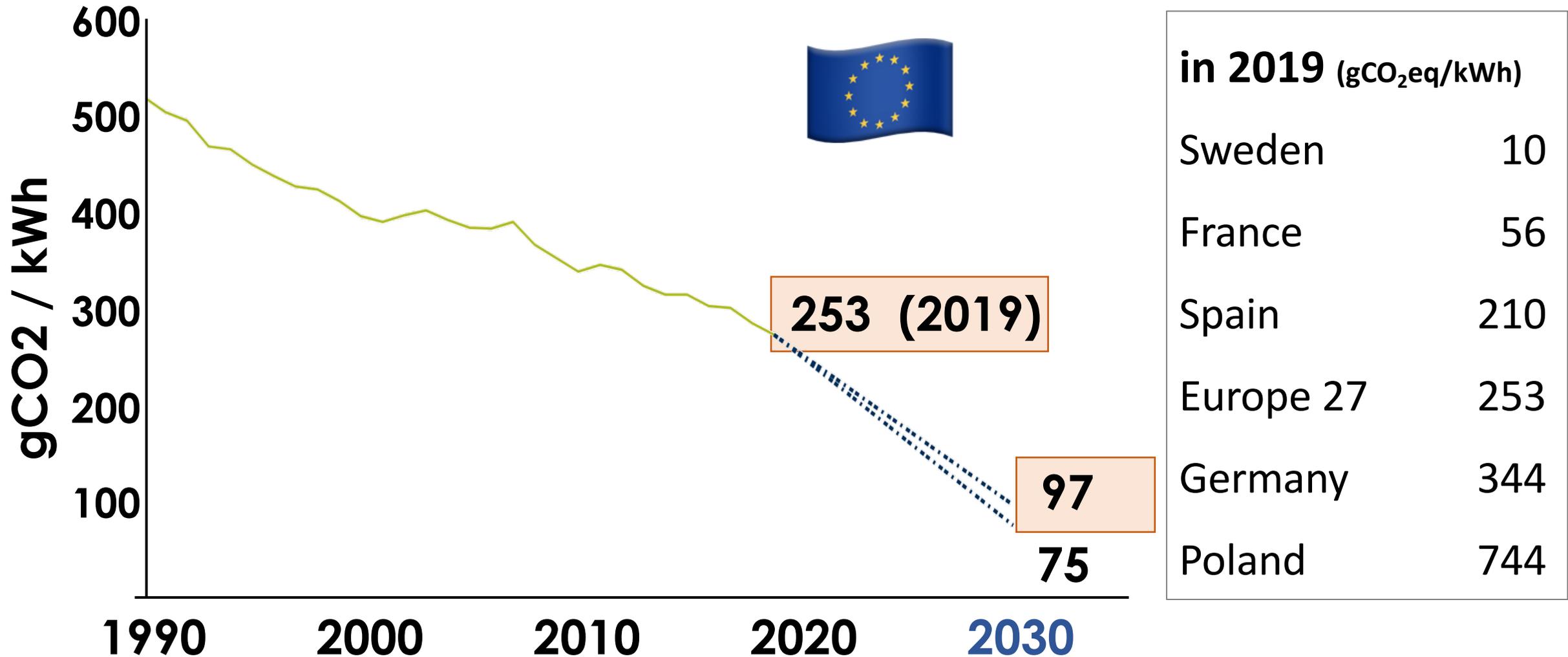


**60 kg CO<sub>2</sub>eq / kWh : 3,6 t et 24 g/km**

**target : 30 kg CO<sub>2</sub>eq / kWh : 1,8 t et 12 g/km**

.. with refining, CAP, pre-CAM and gigafactory using low carbon energy

# Empreinte CO<sub>2</sub>eq d'un kWh d'électricité



Source: European Environment Agency, Dec. 2020

# Émissions sur le cycle de vie de la prod. d'électricité

La vue du GIEC

| Technology             | Lifecycle emissions (incl. albedo effect)<br>Min/ <b>Median</b> /Max (gCO <sub>2</sub> eq/kWh) |
|------------------------|--|
| Coal                   | 740 / <b>820</b> / 910   |
| Gas-Combined Cycle     | 410 / <b>490</b> / 650   |
| Biomass—dedicated      | 130 / <b>230</b> / 420   |
| CCS—Gas—Combined Cycle | 94 / <b>170</b> / 340  |
| Solar PV—utility       | 18 / <b>48</b> / 180   |
| Hydropower             | 1.0 / <b>24</b> / 2200   |
| Nuclear                | 3.7 / <b>12</b> / 110  |
| Wind offshore          | 8.0 / <b>12</b> / 35   |
| Wind onshore           | 7.0 / <b>11</b> / 56   |

*Source: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III, Annex III, Table A III,2: Technology-specific cost and performance parameters. 2014, IPCC (GIEC)*

# Émissions sur le cycle de vie

## Toyota Yaris hybrid

Emissions CO<sub>2</sub> : 87 g / km (WLTP)  
 Production-transport of gasoline +  
 19% (ADEME)  
 Batterie 1,5 kWh

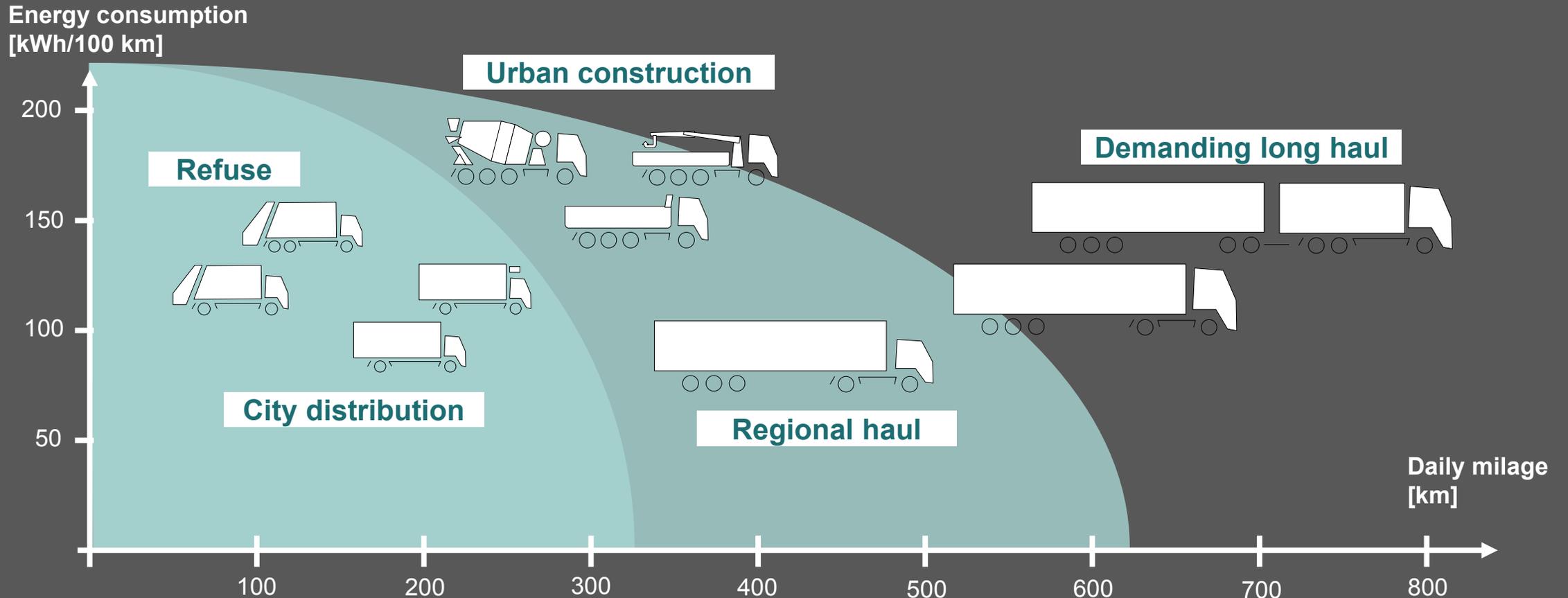
## Renault Zoe

Consumption: 17,2 kWh/100km (WLTP)  
 Yield of electricity transport and battery  
 charging : 85%  
 Batterie : 54 kWh  
 Production de la batterie: Europe

|   | Zoe   |   |   | Yaris hybride |
|---|---|---|---|---------------|
| Battery production:                     | 22   | 22           | 11 target   | ≈ 0           |
| Electricity production :                | 11  | 51 <br>2019 | 20 <br>2030 |               |
| Gasoline production<br>and combustion : |   |   |   | 17<br>87      |
| <b>Total en g CO<sub>2</sub>/km</b>     | <b>33</b>   | <b>73</b>   | <b>31</b>   | <b>104</b>    |

# Electric vehicle applications

( Volvo Trucks' view )



Source: "The future for heavy-duty vehicles in the Pentalateral Region: Integrating electromobility in the energy transition" Magnus Broback and Henrik Engdahl, VOLVO TRUCKS 2020-10-22 Webinar by:

# Émissions comparées PL 40t diesel / à batteries

## Hypothèses:

Total mileage: 800,000 km ; diesel fuel consumption: 30l /100 km in 2030 & 2040; electric HGV consumption: 1.3 kWh/km in 2030, 1.2 in 2040 ; carbon footprint of battery production and recycling : 70 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh of capacity in 2030, 50 in 2040

| Electricity emission factor (gCO <sub>2</sub> eq/kWh) |     | 380kWh battery production & recycling (tCO <sub>2</sub> eq) | 1200kWh battery production & recycling (tCO <sub>2</sub> eq) | Operational lifetime emissions (tCO <sub>2</sub> eq) | HGV with 380 kWh battery (tCO <sub>2</sub> eq) | HGV with 1200 kWh battery (tCO <sub>2</sub> eq) | Diesel HGV* (tCO <sub>2</sub> eq) |
|---|-----|---|--|--|--|---|-----------------------------------|
| France 2030   | 50  | 27  | 84   | 52   | <b>79</b>                                      | <b>136</b>                                      | <b>780</b>                        |
| Europe 2030   | 100 | 27  | 84   | 104  | <b>131</b>                                     | <b>188</b>                                      | <b>780</b>                        |
| Europe 2040   | 80  | 19  | 60   | 77   | <b>96</b>                                      | <b>137</b>                                      | <b>780</b>                        |

\* **535** tCO<sub>2</sub>eq in the case of biodiesel

# Motorisation électrique avec ERS

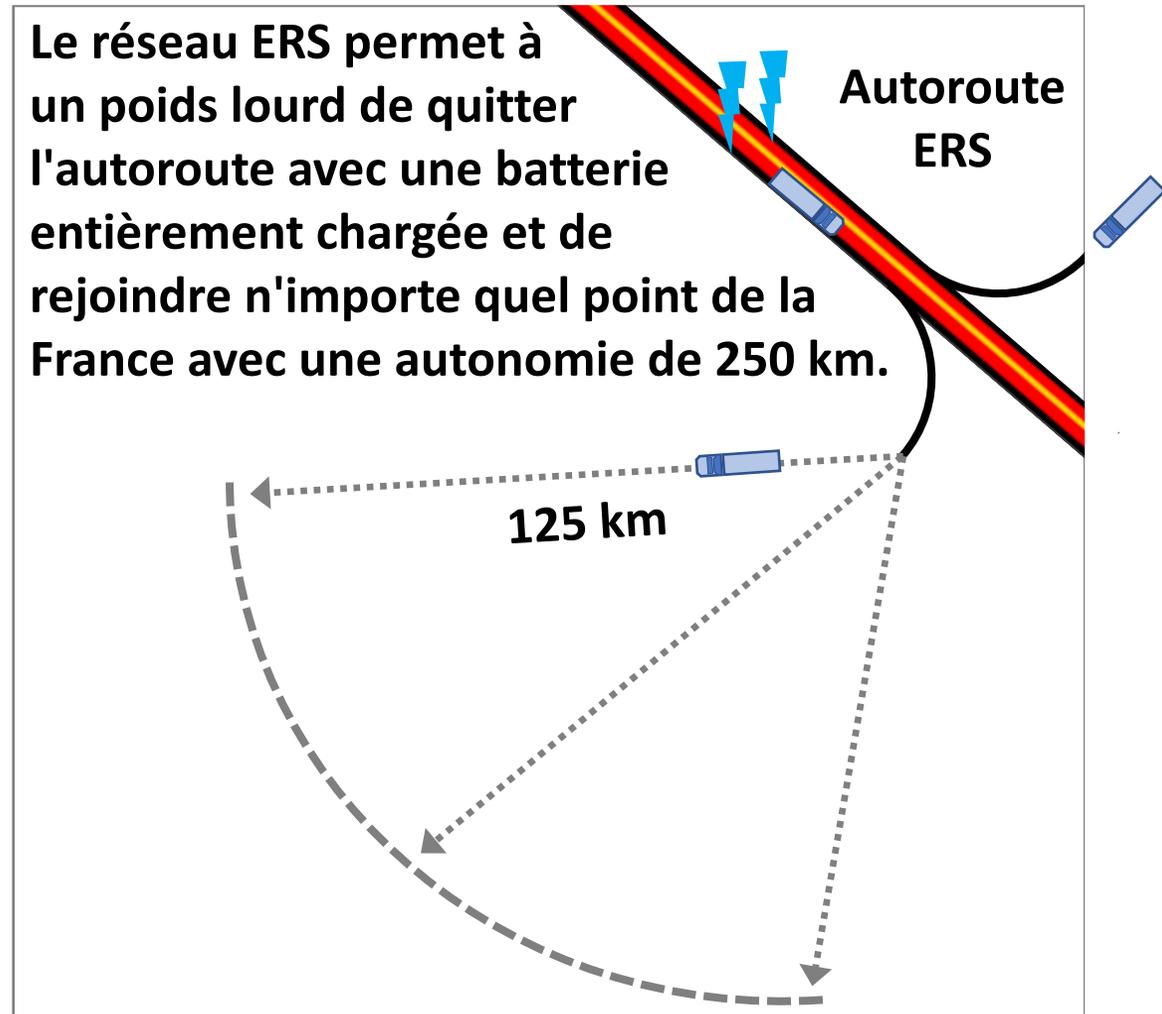
Données France

## Trois technologies

## Nos hypothèses

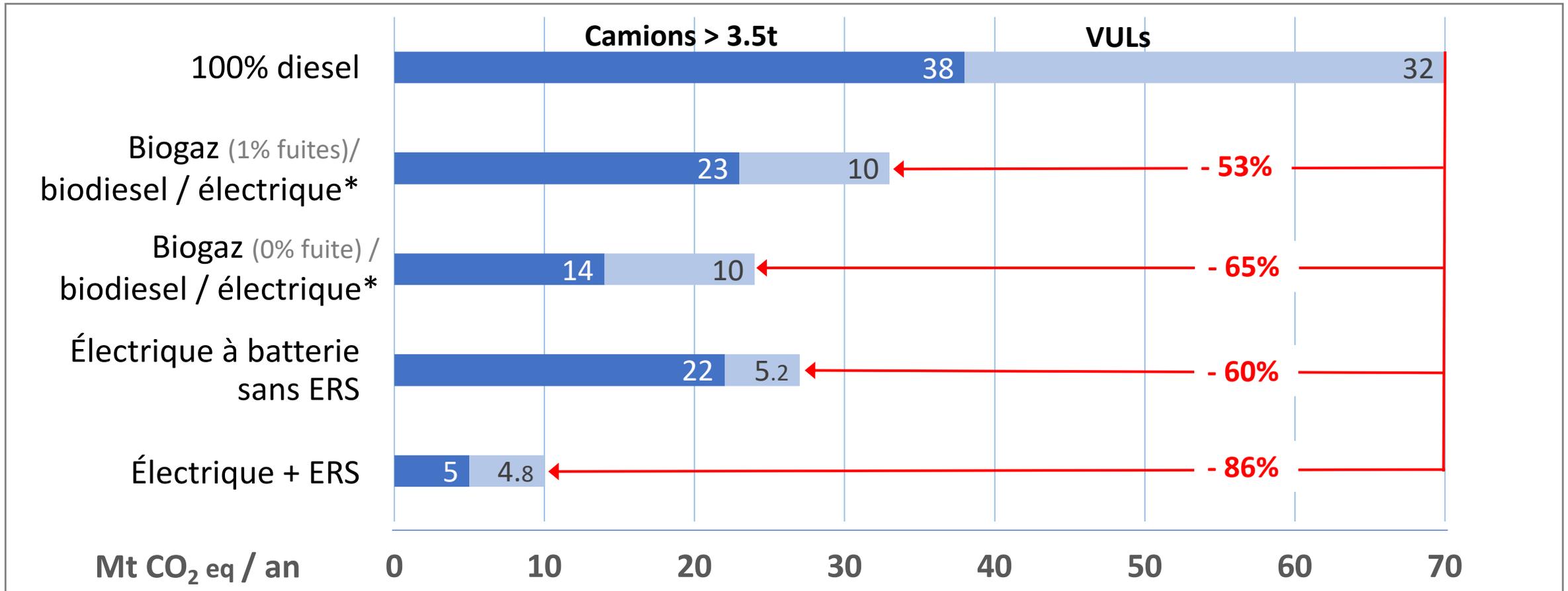
- Équipement de  $\approx$  **9000 km d'autoroutes**
- **Batterie de 370 kWh** permettant 250km d'autonomie pour un camion électrique en fin de vie\*
- **Puissance délivrée: 350 à 400 kW** pour les cas les plus difficiles (44 t réfrigéré capable de se recharger à 100% sur ERS)

\*  $1.25 \text{ kWh/km} \times 250 \text{ km} / 0.85 = 380 \text{ kWh}$



# Émission de GES /année en cycle de vie (2050)

Données France



\* 25% biodiesel, 25% biogaz et 50% électrique pour les camions, 18% biodiesel (longue distance) et 72% électrique pour les VULs.

La solution « rail » économiserait 4Mt CO<sub>2</sub>eq de plus par an permettant à 25% des voitures d'avoir une batterie plus petite (- 40kWh)

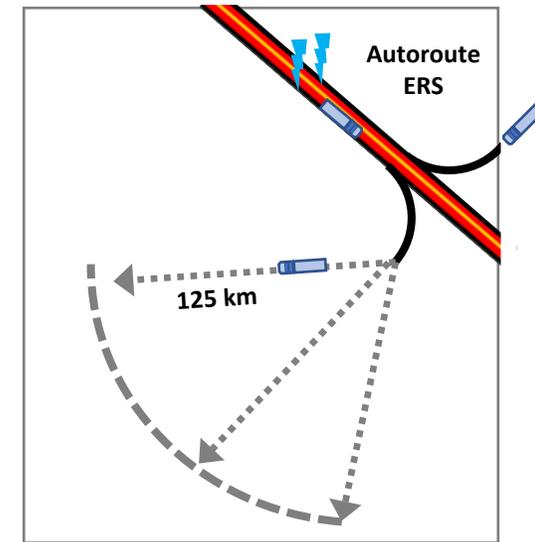
# Résultats en résumé

## Le système d'autoroute électrique (ERS) permettrait ..

- Une décarbonation massive (-85%) du fret routier (VUL+PL)
- Une économie significative de matériaux critiques
- Un coût total d'utilisation similaire au diesel
- Un investissement (privé) 2025-2035 de 30 à 40 Mds €.
- Une solution plus compétitive que des camions à grosse batterie

## Mais nécessitera

- Un support financier public temporaire dû à la lente (6 ans?) transformation de la flotte de poids lourds.
- Une décision pan-Européenne pour qu'un premier réseau significatif soit opérationnel fin 2029.



# Besoins de métaux / Production / Réserves

Besoins monde 2030 (demande totale 5000 GWh/an)

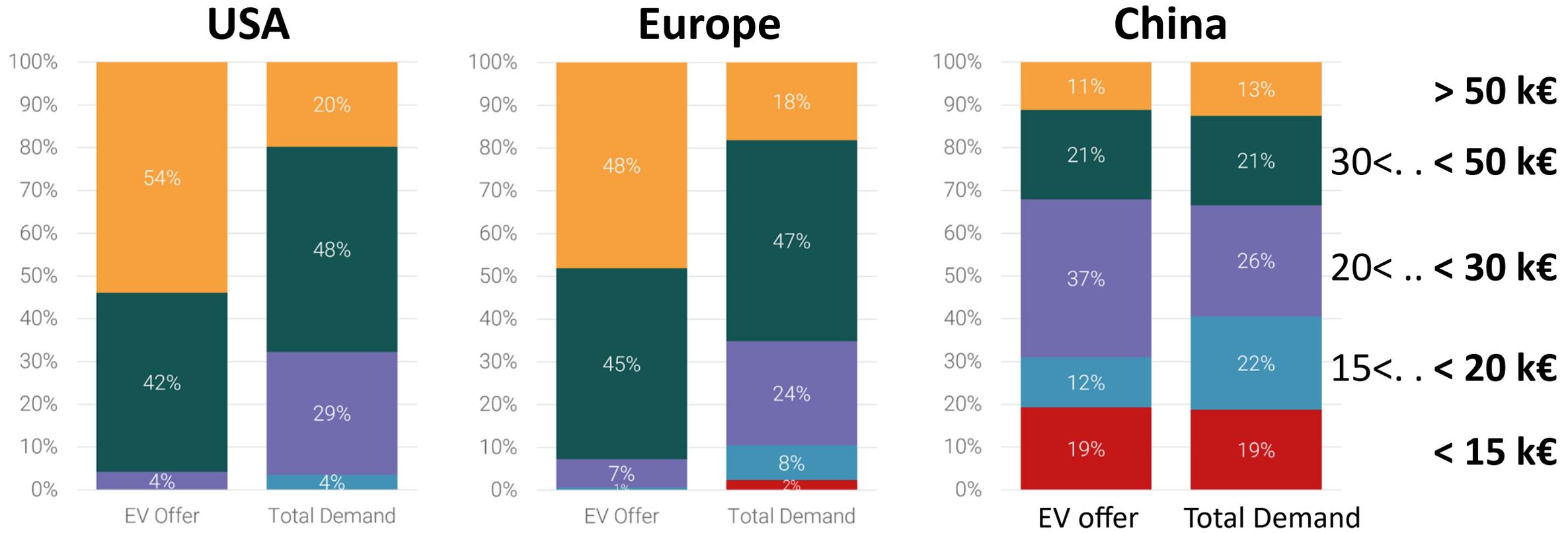
|         | NMC 811 50%<br>LFP 50% | Production globale 2022<br>/ réserves prouvées   | Ressources<br>estimées |
|---------|------------------------|--|------------------------|
| Lithium | 500 kt                 | 130 kt / 26 000 kt   | 98 000 kt              |
| Nickel  | 1,500 kt               | 2 700 kt  / 95 000 kt | 300 000 kt             |
| Cobalt  | 185 kt                 | 170 kt / 7 600 kt  | 25 000 kt              |

En ce qui concerne le **cuivre**, les réserves prouvées sont de 880 Mt. La production de 2021 était de 26 Mt. Les ressources connues sont de 2 100 Mt. Les ressources totales estimées : 3 500 Mt. Et le recyclage fonctionne bien.

**Source: US Geological Survey 2023**

# Le prix des VE: un obstacle, un danger

H1 2022 Retail Price of Electric Cars by range as percentage of total offer vs H1 2022 Sales distribution by Retail Price range



Source: Affordable EVs and Mass Adoption: The Industry Challenge, JATO Dynamics, 2022-09

# Conclusion sur les mobilités routières

- 1) Une approche mobilités / énergie / infrastructures / ressources / usages choisis ou acceptés est nécessaire
- 2) Sobriété et reports modaux sont indispensables, mais limités en impact CO<sub>2</sub>
- 3) Pas d'autre choix qu'un parc de véhicules  $\approx$  zéro carbone en 2050.
- 4) Donc véhicules neufs  $\approx$  zéro carbone en 2035-40.
- 5) EV meilleure solution à terme pour les VP, VUL, camions intra-régionaux.
- 6) Fret longue distance : ERS ou grosses batteries (ni H<sub>2</sub> ni eFuels)
- 7) La recharge est à la traîne pour les voitures et pire encore pour les camions
- 8) Les prix des VEs doivent et peuvent baisser
- 9) Une rupture à venir avec des véhicules autonomes partagés. Mais quand ?

- La contrainte climatique et l'impact des mobilités routières
- Le contexte énergétique
- Solutions potentielles
- Véhicules électriques
- **Outils**

# Dans votre boîte à outils

- Ne jamais oublier le méthane ( x 84 à 25 ans)
- Aller vite: -43% 2030 / 2019
- Une approche mobilités / énergie / véhicules / infrastructures / ressources / usages choisis ou acceptés
- Énergie décarbonée : on en manquera pendant longtemps.
- Certains secteurs augmenteront leur consommation totale d'énergie
- Quel est le potentiel d'une sobriété choisie ou acceptée ? Conditions?
- L'électricité en France très décarbonée. Cela viendra aussi en Europe.
- Avoir en tête, les empreintes carbone dans votre périmètre de responsabilités et autour.
- ... en tenant compte de l'évolution des secteurs 2025-2030-2040-2050

Merci pour votre attention