

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**

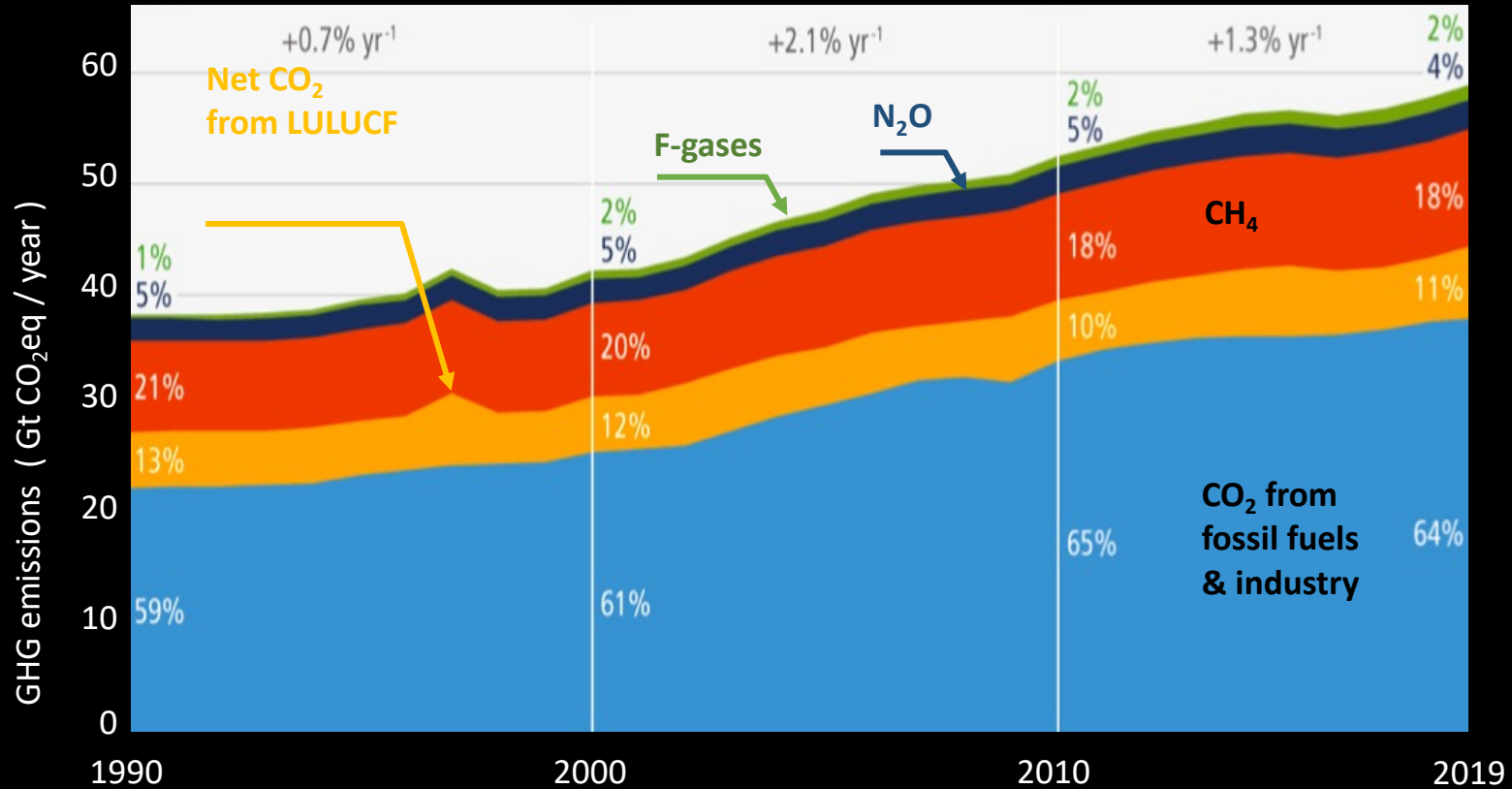
- Le contexte énergétique

- Solutions potentielles

- Véhicules électriques

- Outils

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



L'urgence

Émissions mondiales nettes actuelles:

42 GtCO₂/ an

« Crédit » pour rester sous +1,5°C :

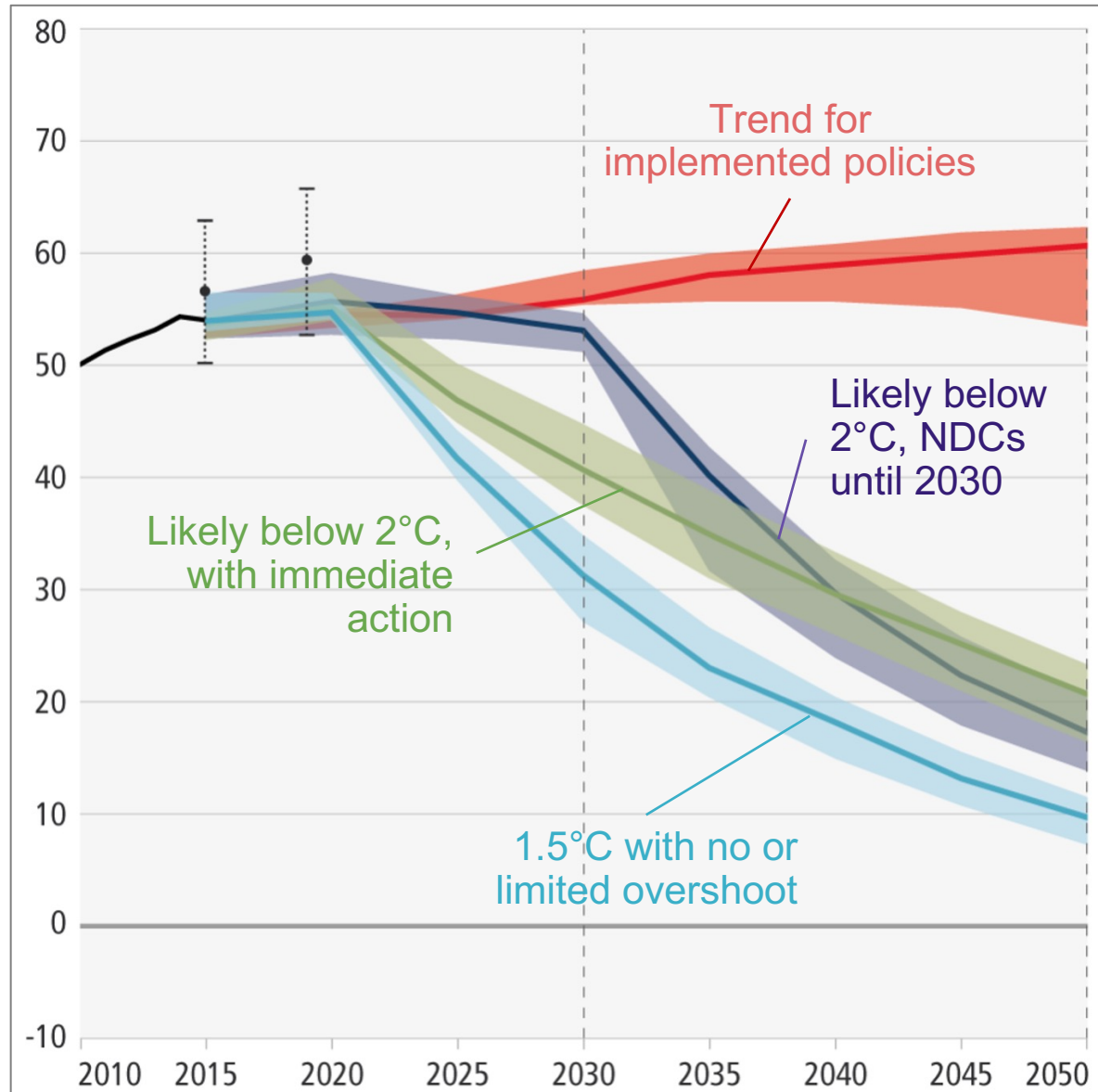
500 GtCO₂eq

Source: 6^{ème} rapport du GIEC

Être à zéro émissions nettes en 2050
et émettre moins de 500 GtCO₂eq
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 CO₂ dues à la combustion d'énergie
(Émissions de CO₂)

Émissions de Gaz à Effet de Serre
Émissions nettes de CO₂

Empreinte Carbone (avec importations – exportations)



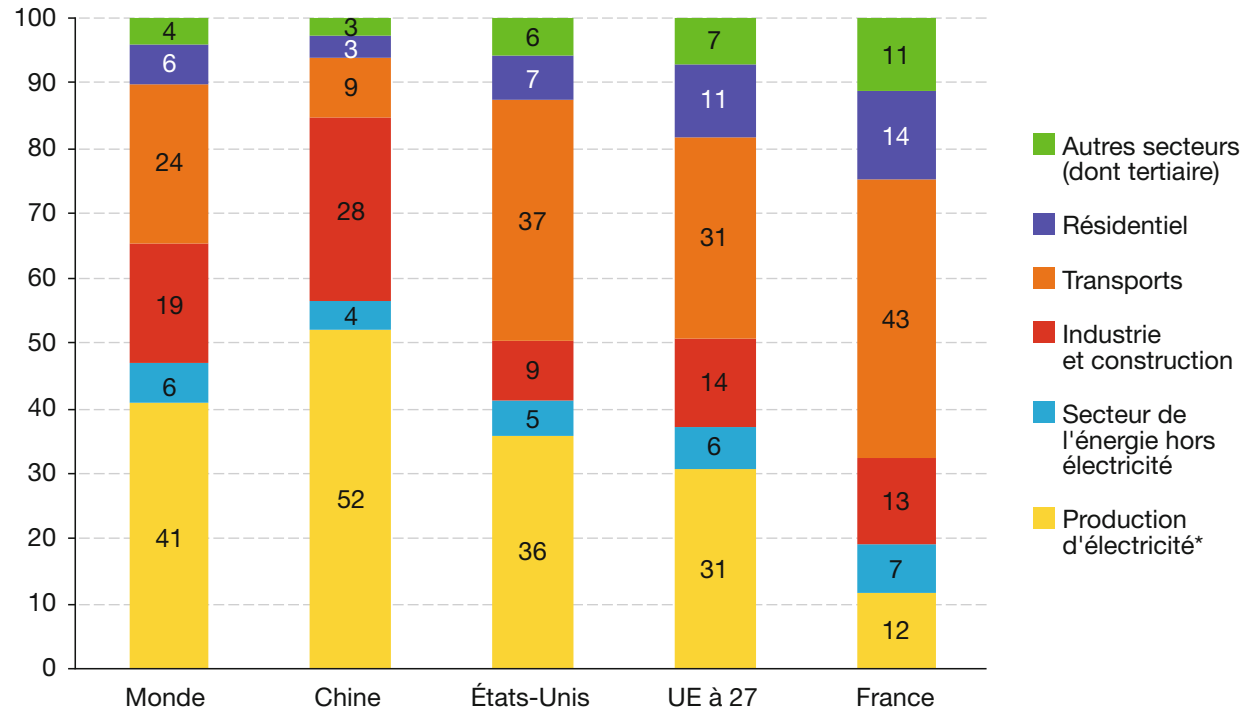
L'aviation et le maritime
au départ de l'entité ne
sont quelques fois pas
comptés

De quoi parle-t-on ?

Répartition sectorielle des émissions de CO₂ dans le monde

ORIGINE DES ÉMISSIONS DE CO₂ DUES À LA COMBUSTION D'ÉNERGIE EN 2019

En %



* Y compris cogénération et autoproduction.

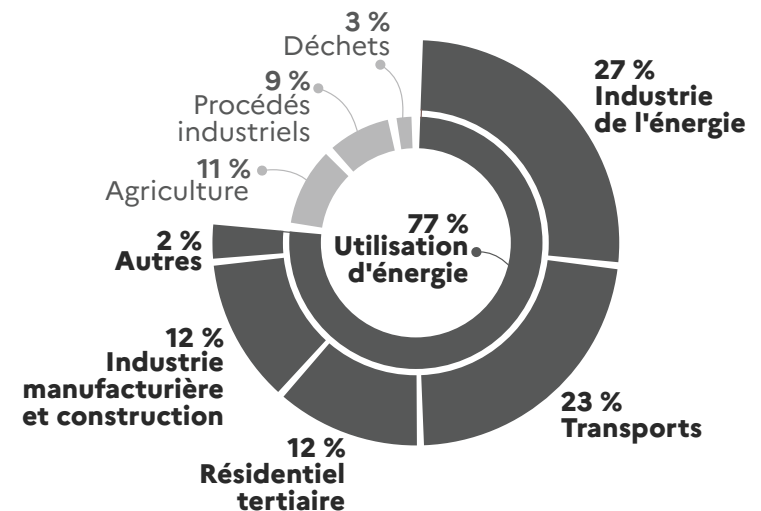
Source : AIE, 2021

Empreinte Carbone (GES) France: 445 MtCO₂eq
+188 importés moins exportés (2017)

Émissions de GES (CO₂ + CH₄ + N₂O + gaz fluorés..)

Gaz à effet de serre

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

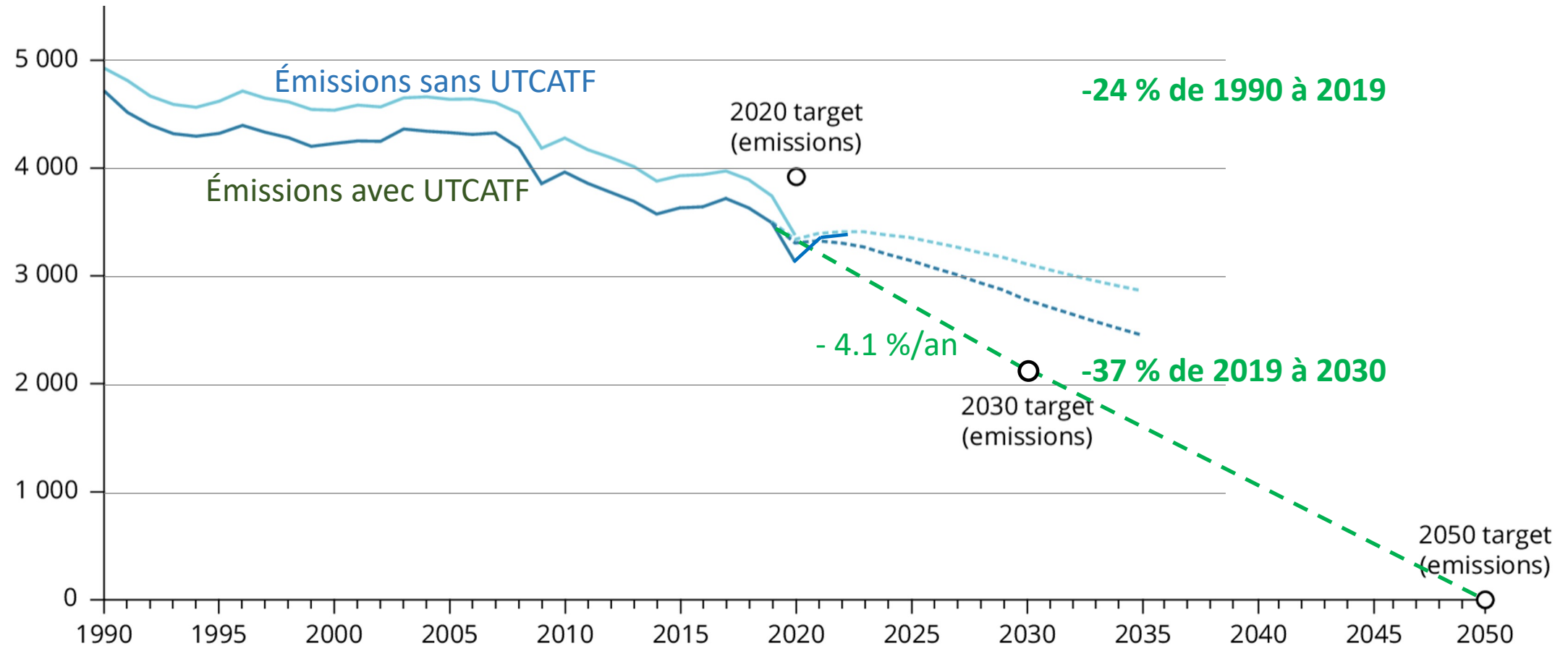


2019

Source: Chiffres clés du climat 2022

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

Mt CO₂eq



Les mobilités routières en 2019

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

Monde: 10.5 %

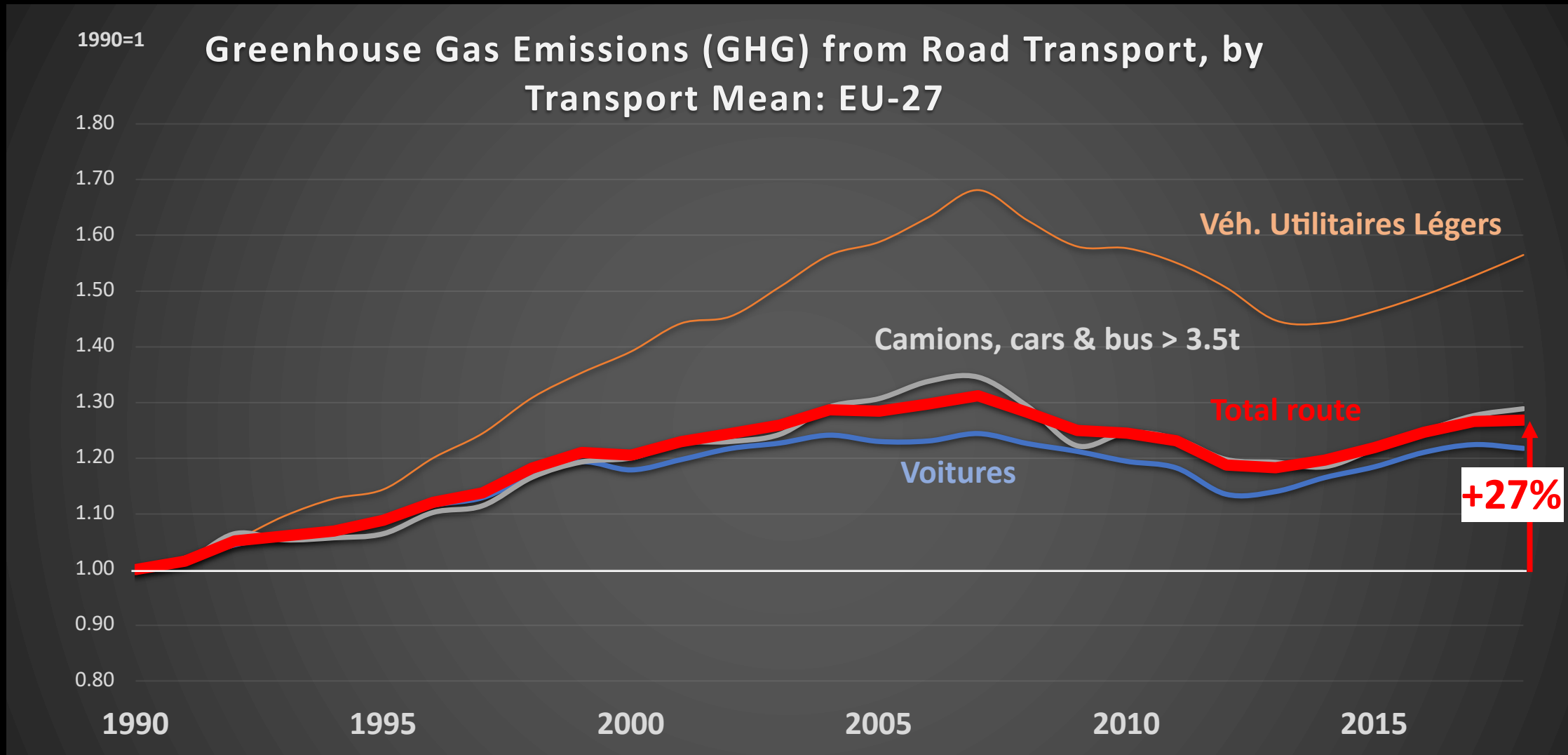
Europe 27: 24 %

Voitures 61 %

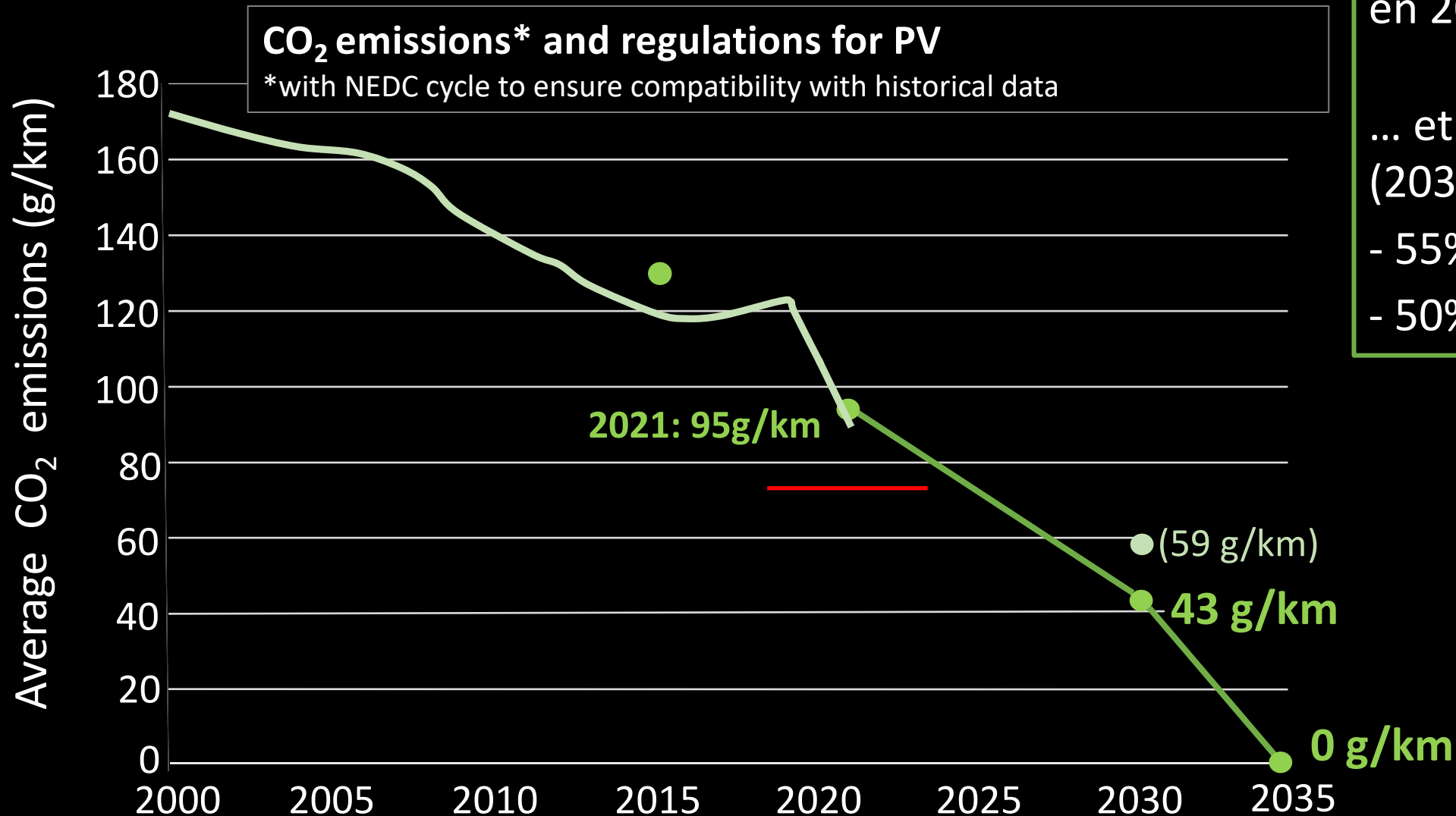
Véh.Utilitaires Légers 11 %

Poids lourds, cars & bus 27 %

Les émissions des mobilités routières EU27



L'Europe a donc réagi !

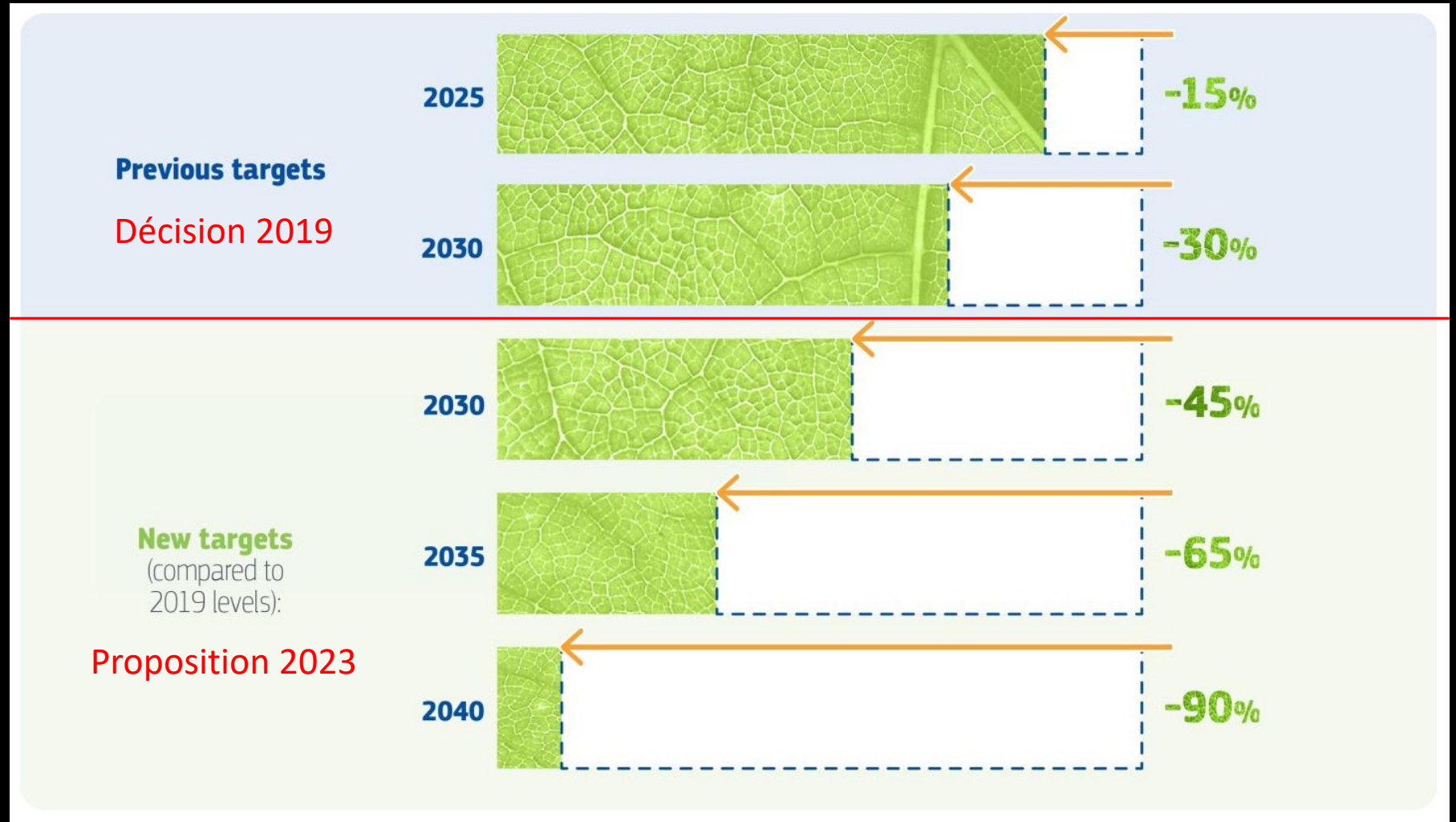


“Fit for 55”: - 55% des émissions de l'EUROPE en 2030 / 1990

... 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
Personnes (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%
Marchandises (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 CO₂

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

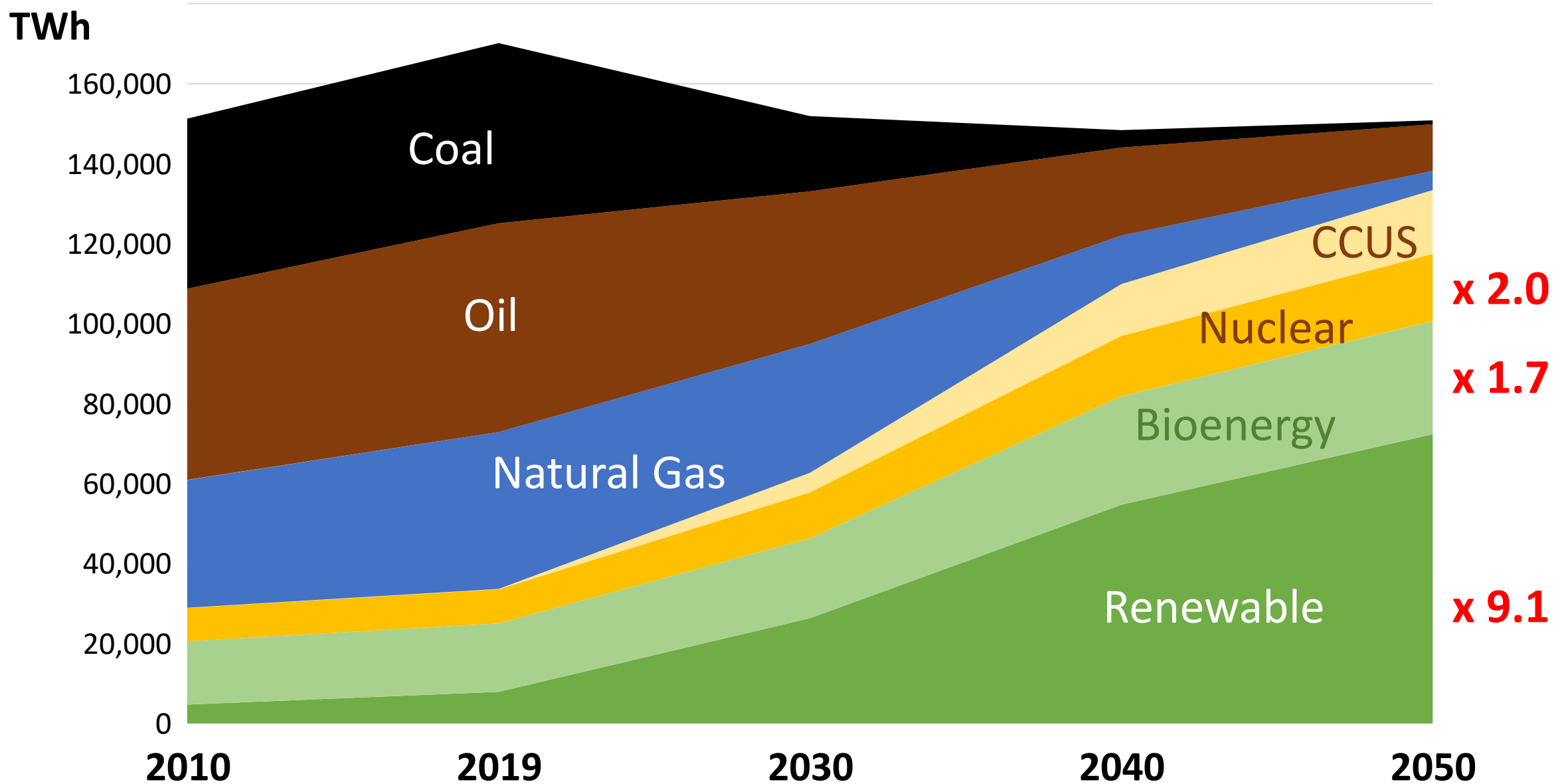
- 10% de 10 à 20 km

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

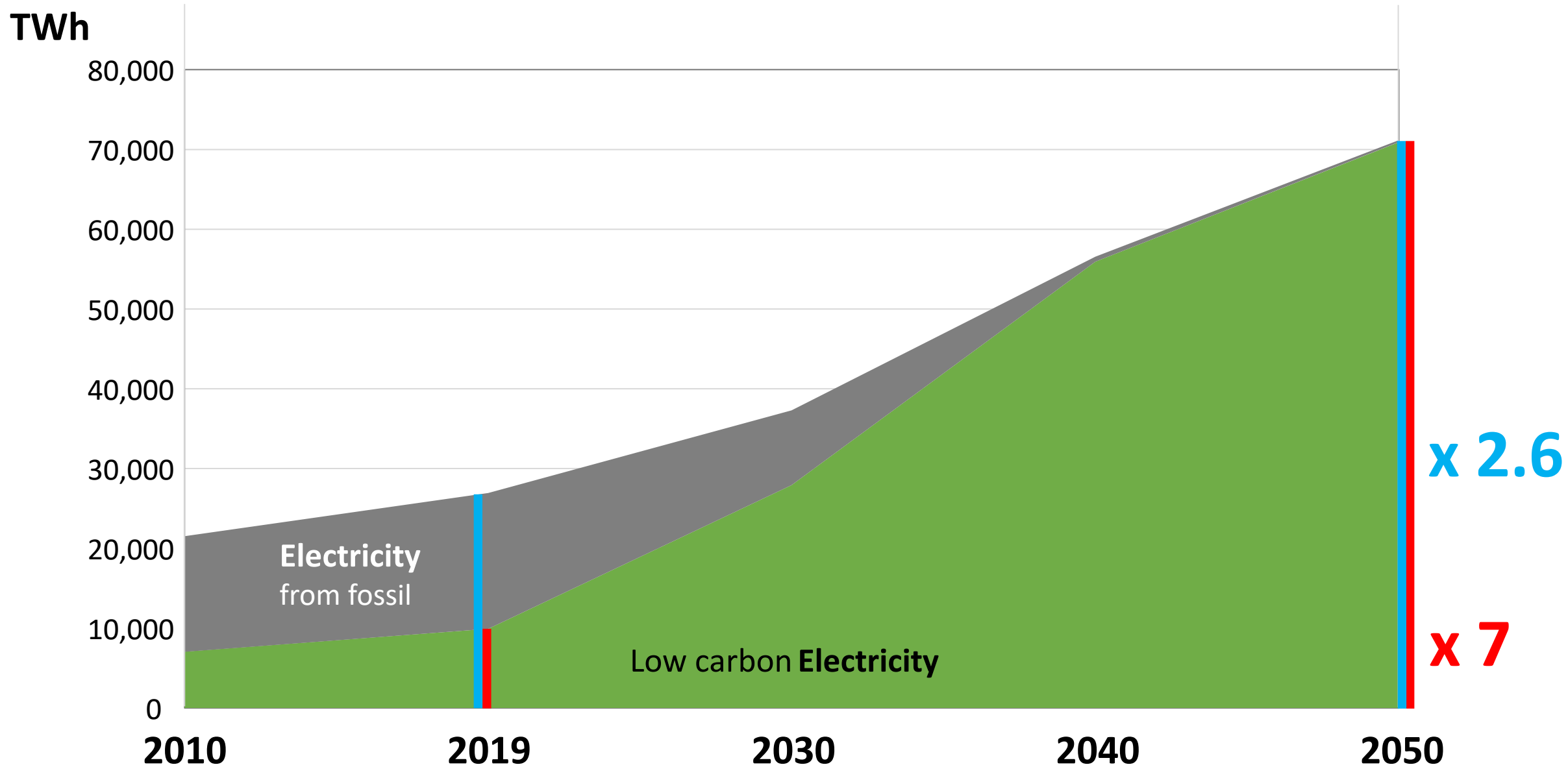
on réduirait les émissions CO₂ de **17%** (en supposant 100% de véh. thermiques)

- 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")

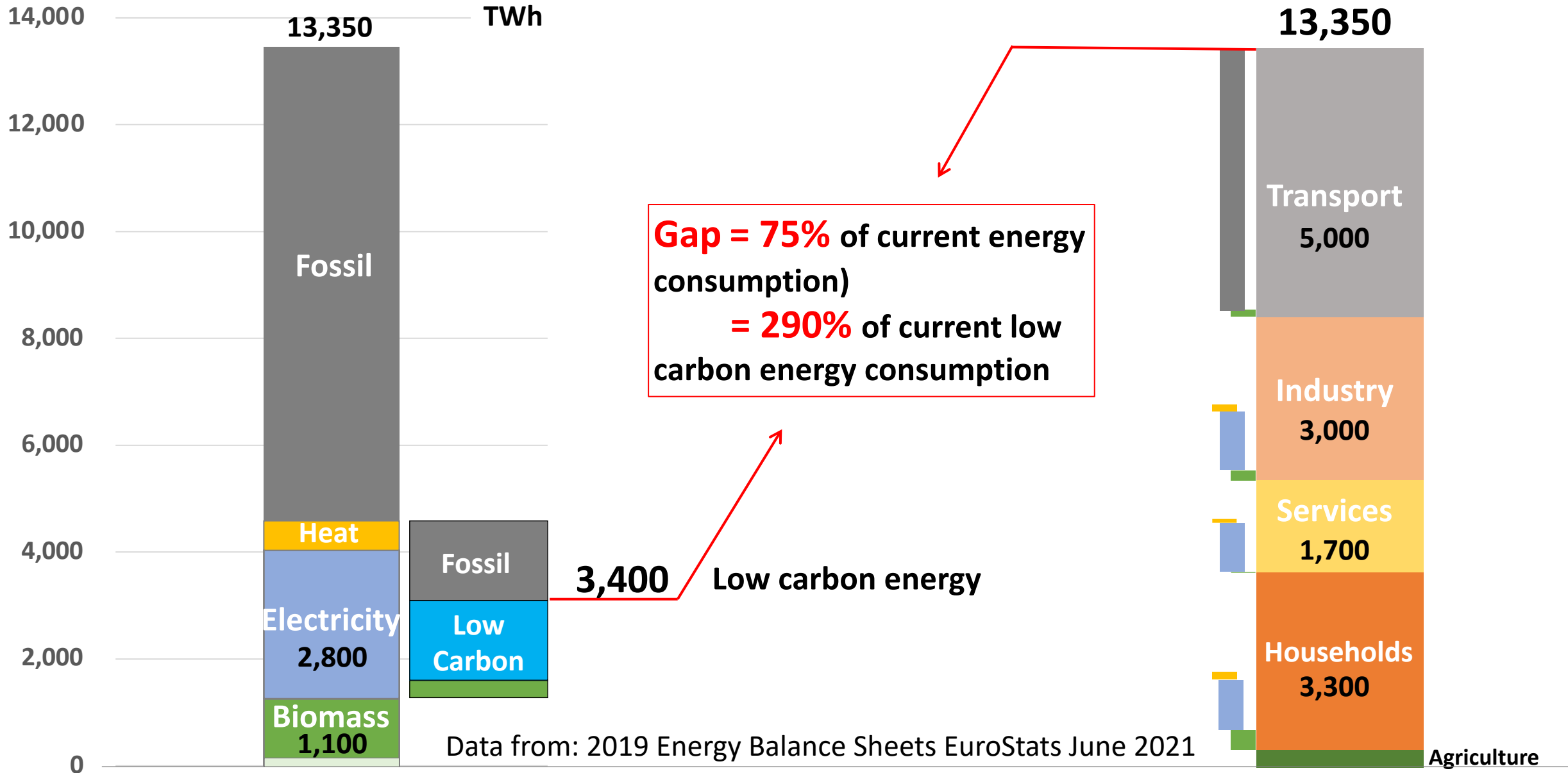


Electricity generation (w-w, IEA "Net zero scenario")



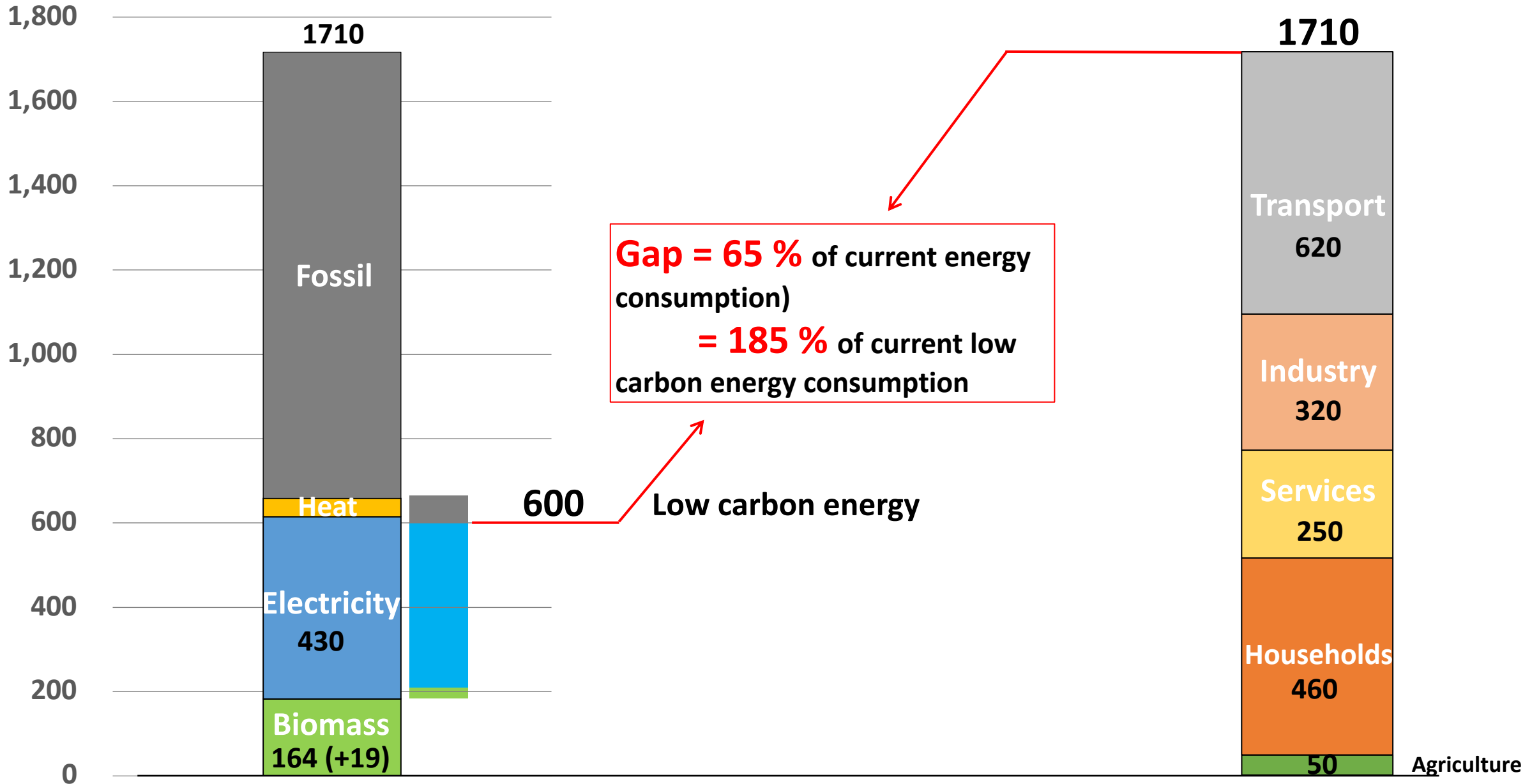
Final energy consumption 2019 EU28

All figures are
in TWh



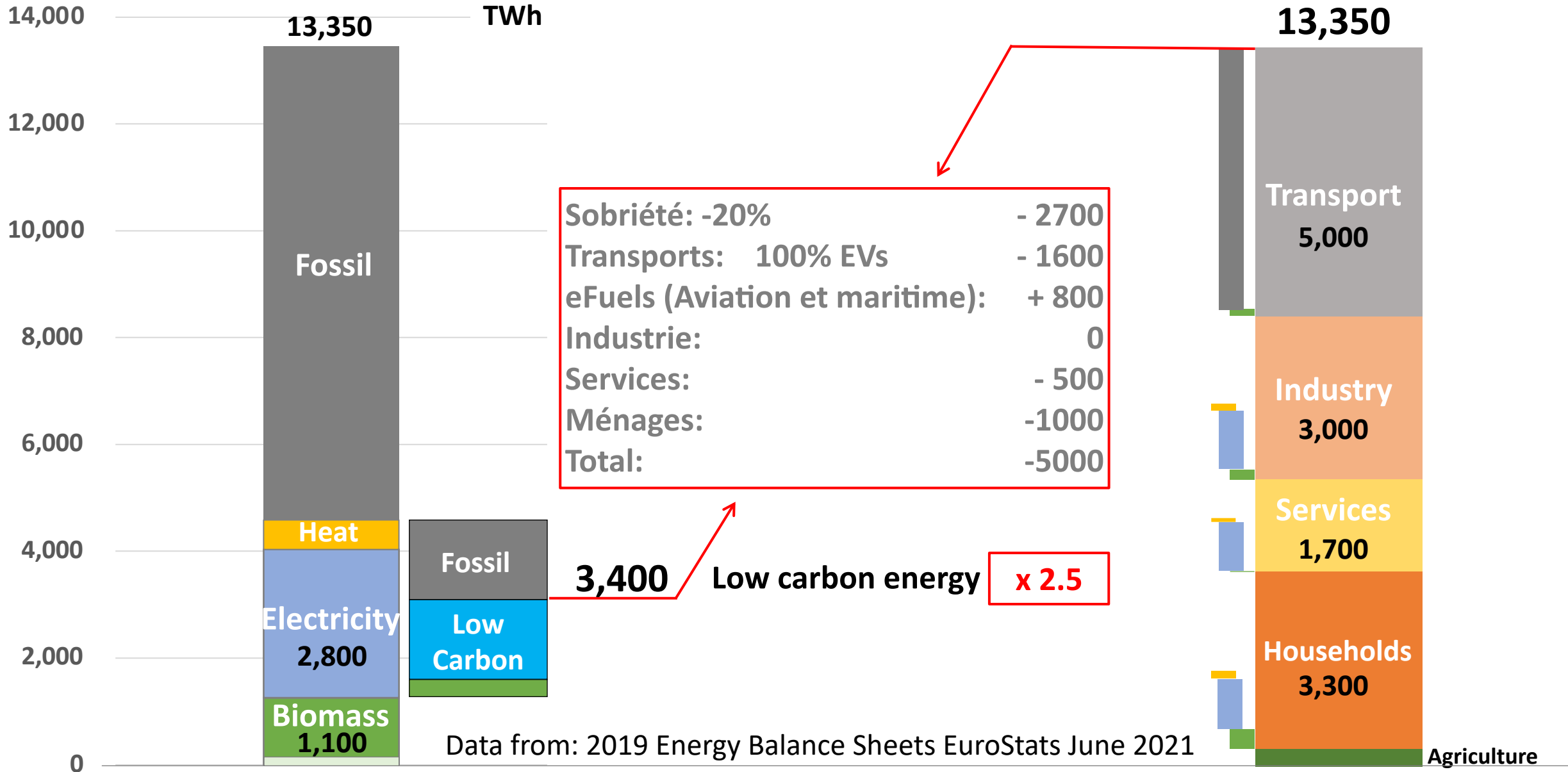
Final energy consumption 2019 FRANCE

All figures are
in TWh

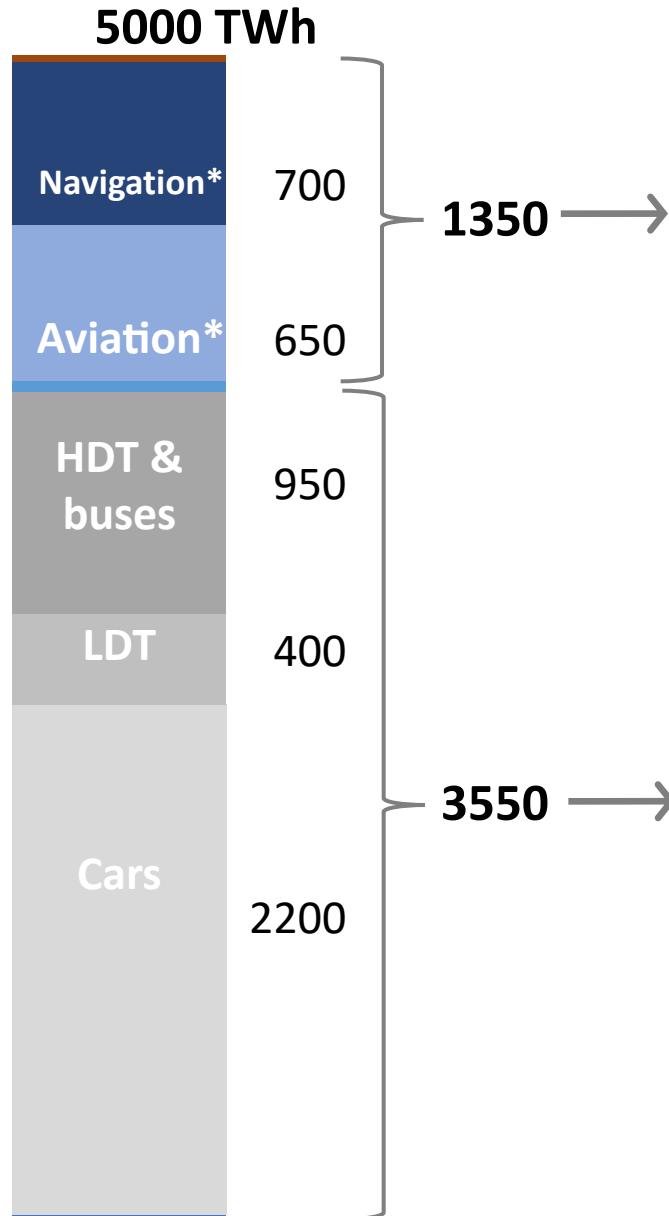


Final energy consumption 2019 EU28

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 (H₂ from electrolysis),
(200 if from plasmalyse)
- 100% eFuel (SAF & Biodiesel) : **2300 TWh of electricity** (DAC & H₂ 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 H₂ 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% CO₂eq/km / diesel.

Transition  

Long terme 

Biométhane :

-90% CO₂eq/km / diesel

mais 3% de fuites élimine tout bénéfice (CH₄ GWP₂₅ 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 H₂ issu de ..

2023-2035

2035-2050

Vaporéformage du méthane (SMR) :

mais émissions WtW > 100 gCO₂/km (voiture H₂)
autres process > 130 and 200 gCO₂/km

Transition **X**

Long terme **X**

SMR + Carbon Capture & Sequestration

Transition **✓**

Long terme **✓**

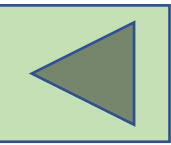
Électrolyse avec électricité décarbonée :

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

Transition **X**

Long terme **?**

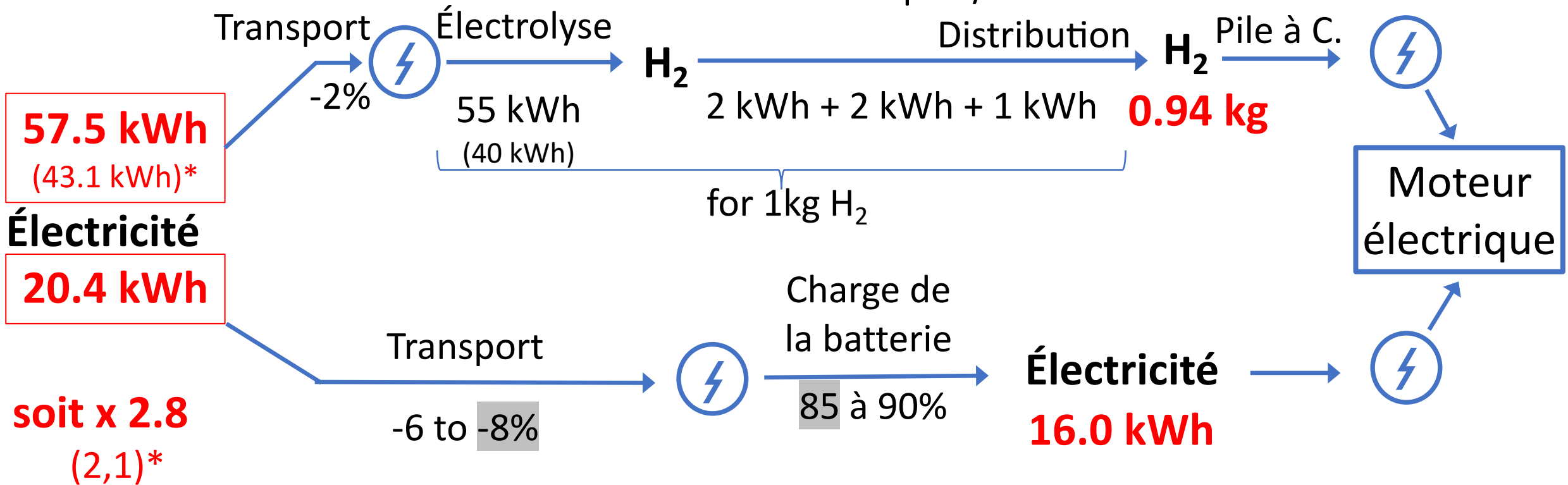
Comparaison VE H₂ (issu d'électrolyse)/ VE Batterie



Mirai / Model 3 on 100 km (WLTP)

Hypothèse : pas de fuite

Compression/
Transport/
Distribution



Toyota Mirai: 0.94 kg H ₂ /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 H₂ issu de ..

2023-2035

2035-2050

Vaporéformage du méthane (SMR) :

mais émissions WtW > 100 gCO₂/km (voiture H₂)
autres process > 130 and 200 gCO₂/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

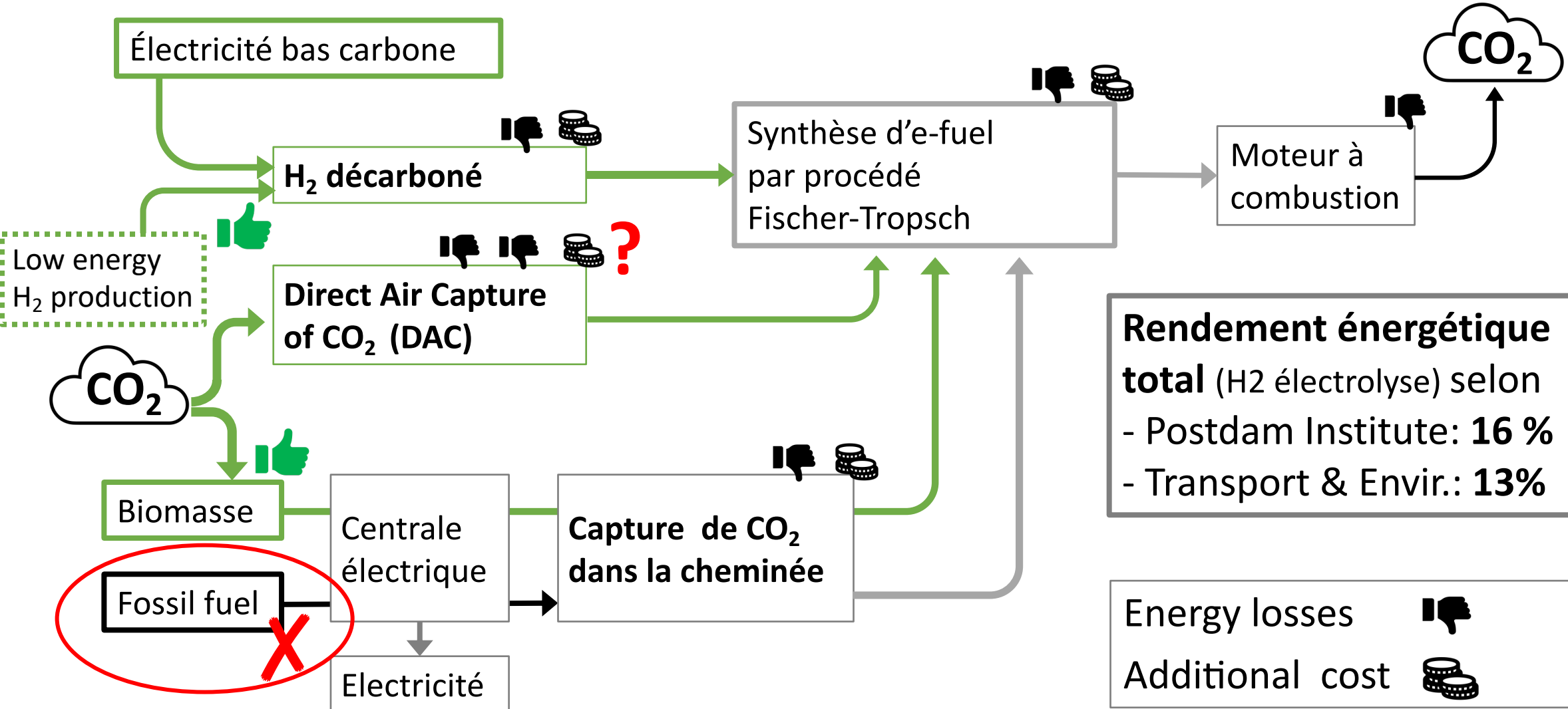
Hybride rechargeable avec biodiesel / biométhane

Hydrogène (pile à combustible ou combustion)

E-fuels

Électrique à batterie

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



Rendement énergétique total (H₂ électrolyse) selon
- Postdam Institute: **16 %**
- Transport & Envir.: **13%**

Energy losses
Additional cost

Solutions possibles pour les e-fuels..

Compétition pour les e-fuels: aviation, fret routier longue distance
(avec CO₂ issu de l'atmosphère ou de la biomasse)

2023-2035

2035-2050

+ H₂ issu d'électrolyse

rendement énergétique 11-14%

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

+ H₂ issu de SMR + CCS

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

+ H₂ 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 H₂ issu d'électrolyse

avec H₂ issu de SMR + CCS

avec H₂ 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 

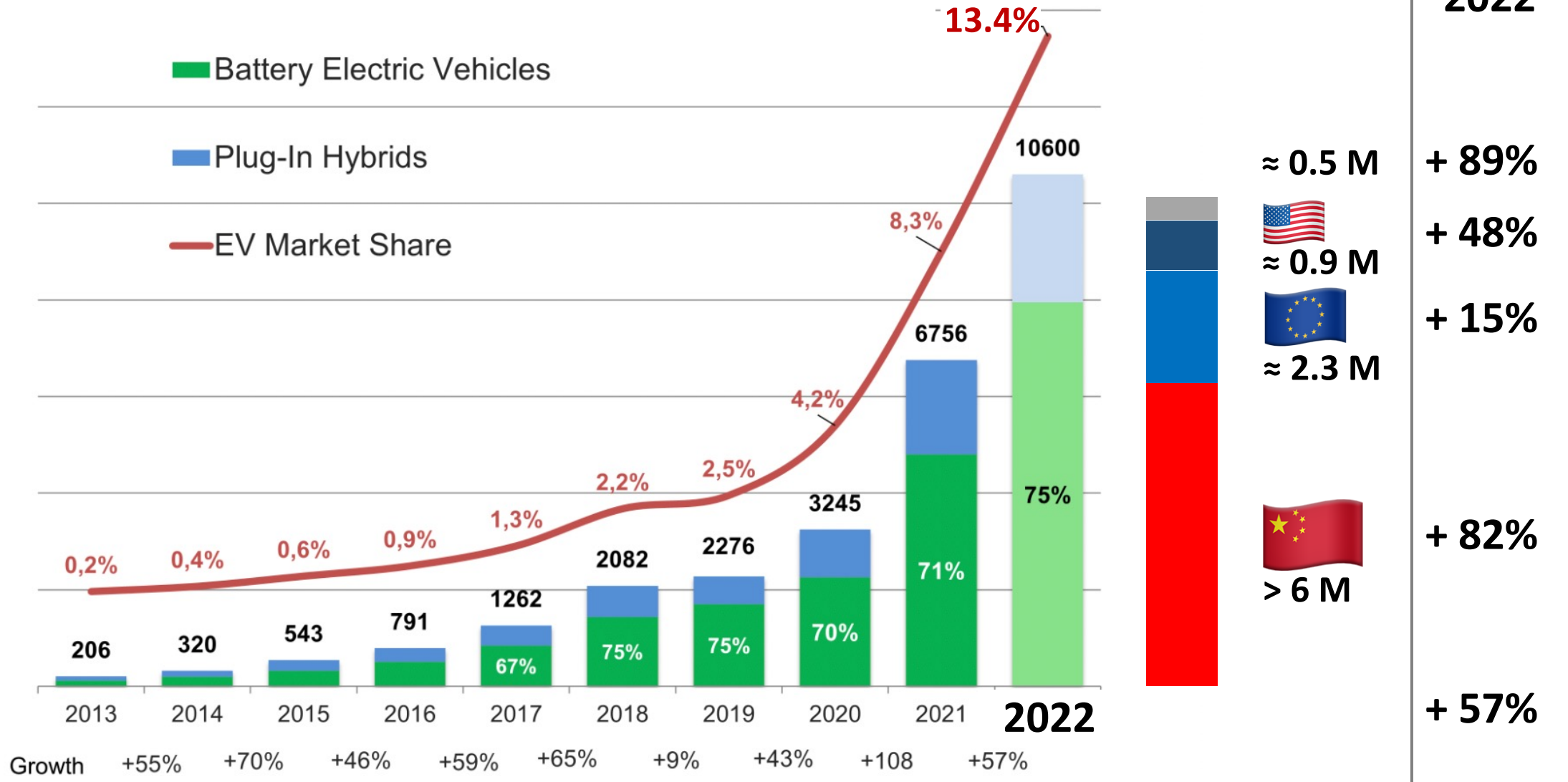
Long terme 

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

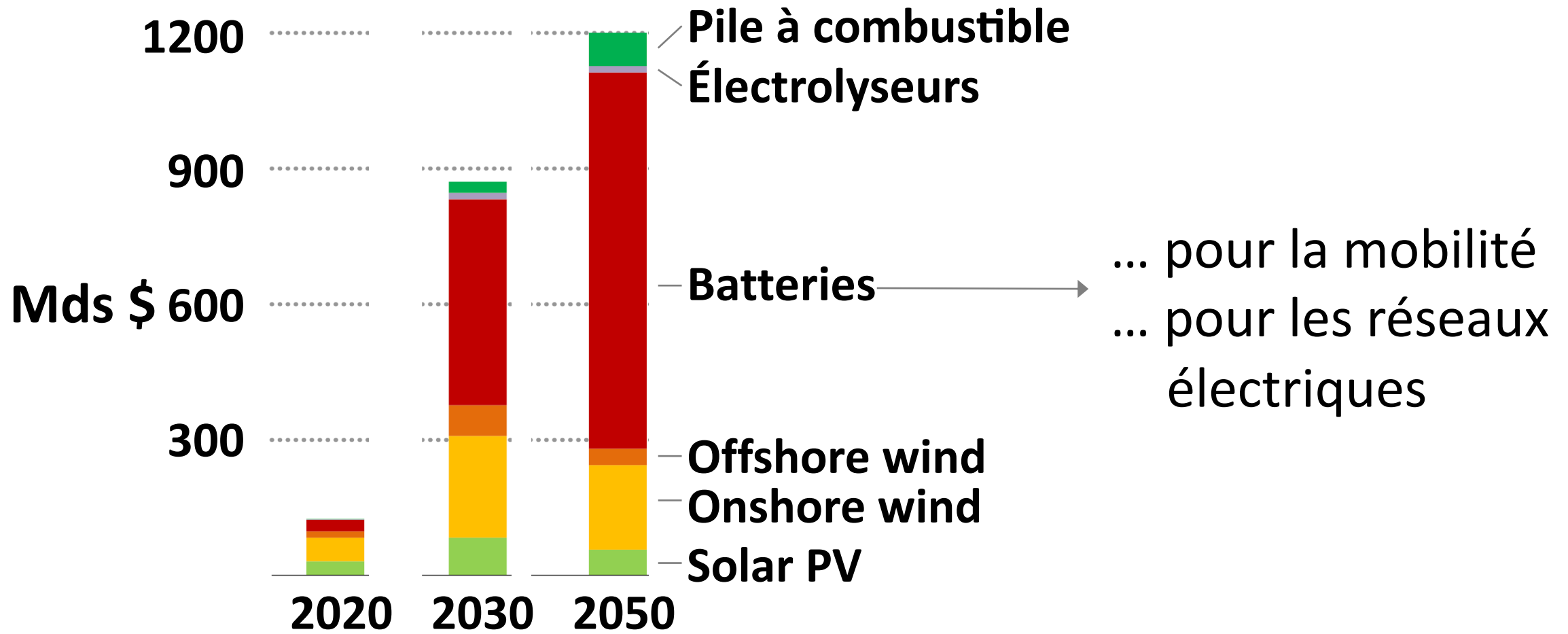
Ventes mondiales de VEs + VHRs 2012 – 2022e



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 VE

- 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 6.2.2 & 7.1.2	LFP	NMC 8.1.1 ou 85/10/5	LFP	NMC évolution	Solid State anode Li métal
Densité massique cellule (Wh/kg)	270	170	300+	200+	350	(450)
Densité massique pack (Wh /kg)	170	140	240	160+	?	(380)
Vitesse de recharge (pour 80% de la capacité)	30-40 min		20 min		15 min	(20 min)
Durabilité (Nb de cycles 1C/1C avec 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 CO₂eq emissions of a battery

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



100 kg CO₂eq / kWh : 6.0 t et 40 g/km

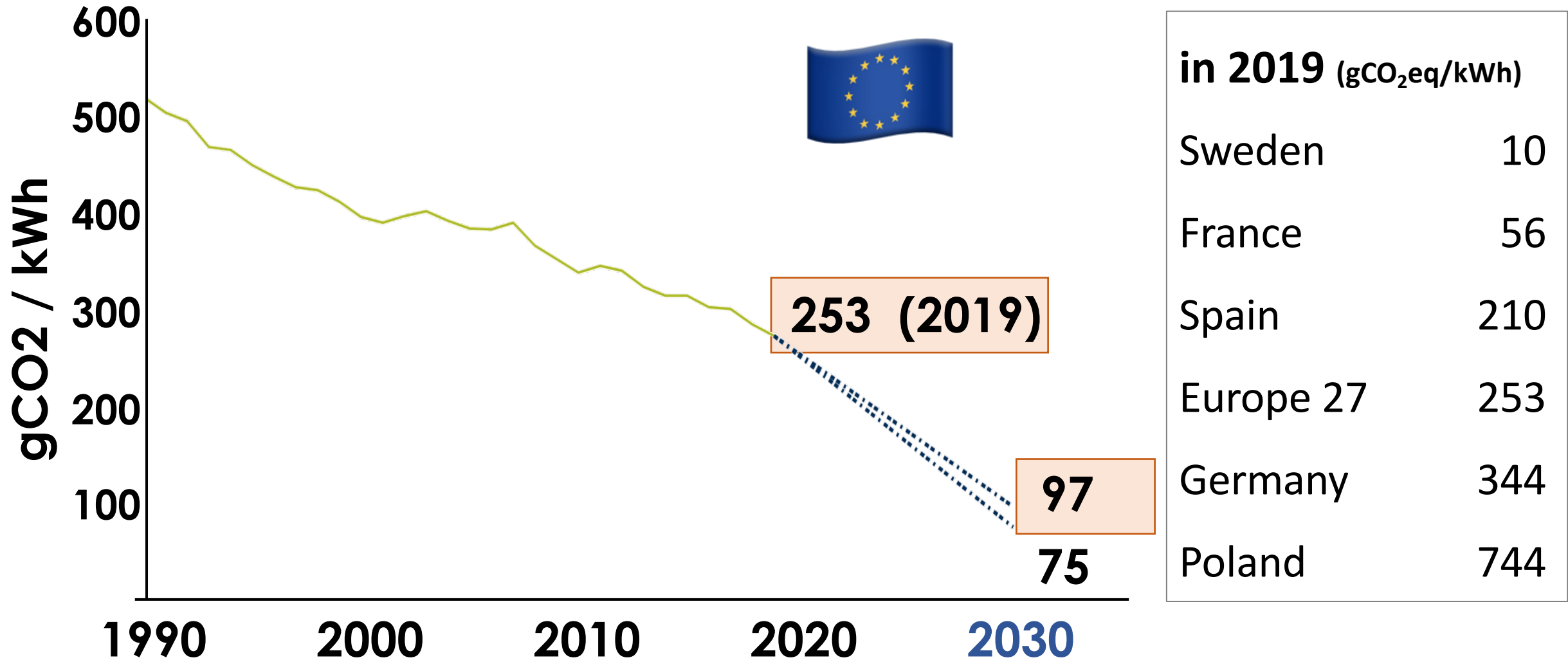


60 kg CO₂eq / kWh : 3,6 t et 24 g/km

target : 30 kg CO₂eq / kWh : 1,8 t et 12 g/km

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

Empreinte CO₂eq 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)
	Min/ Median /Max (gCO ₂ eq/kWh)
Coal	740 / 820 / 910
Gas-Combined Cycle	410 / 490 / 650
Biomass—dedicated	130 / 230 / 420
CCS—Gas—Combined Cycle	94 / 170 / 340
Solar PV—utility	18 / 48 / 180
Hydropower	1.0 / 24 / 2200
Nuclear	3.7 / 12 / 110
Wind offshore	8.0 / 12 / 35
Wind onshore	7.0 / 11 / 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 CO₂ : 87 g / km (WLTP)
 Production-transport of gasoline +
 19% (ADEME)
 Batterie 1,5 kWh

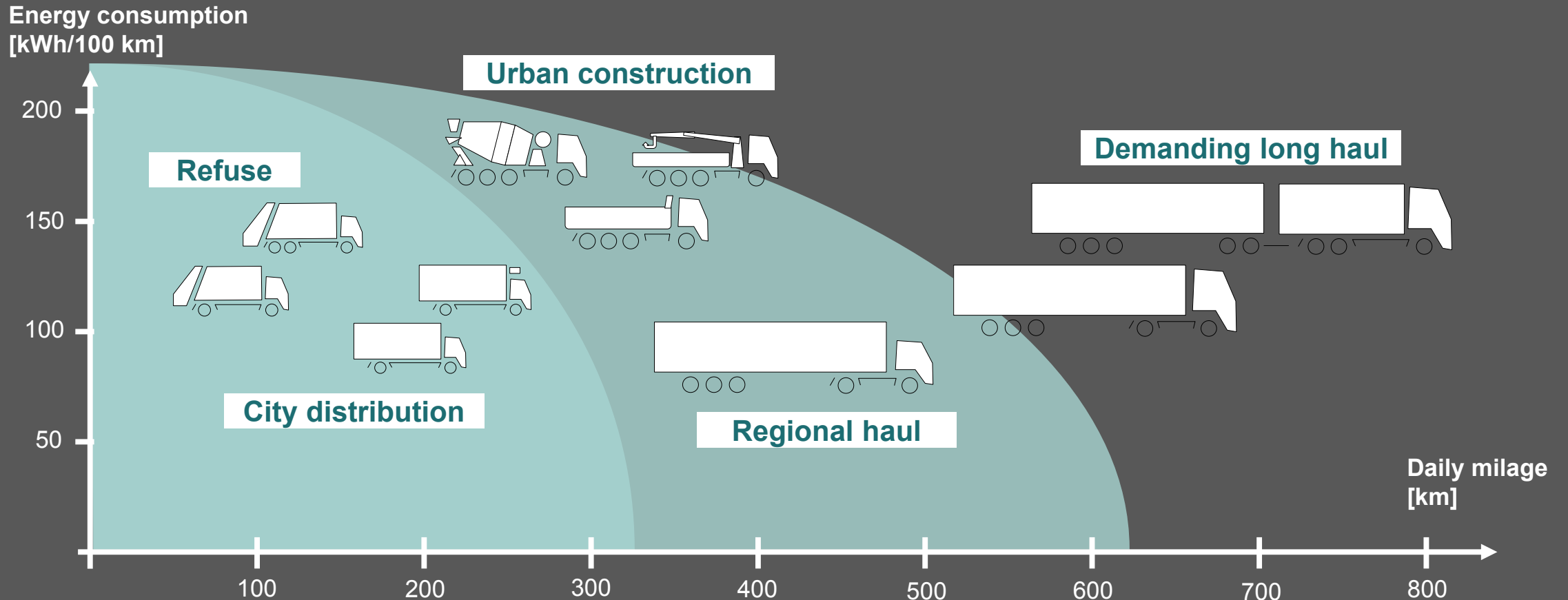
Renault Zoe

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  2019	20  2030	
Gasoline production and combustion :				17 87
Total en g CO₂/km	33	73	31	104

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 kgCO₂eq/kWh of capacity in 2030, 50 in 2040

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

* **535** tCO₂eq in the case of biodiesel

Motorisation électrique avec ERS

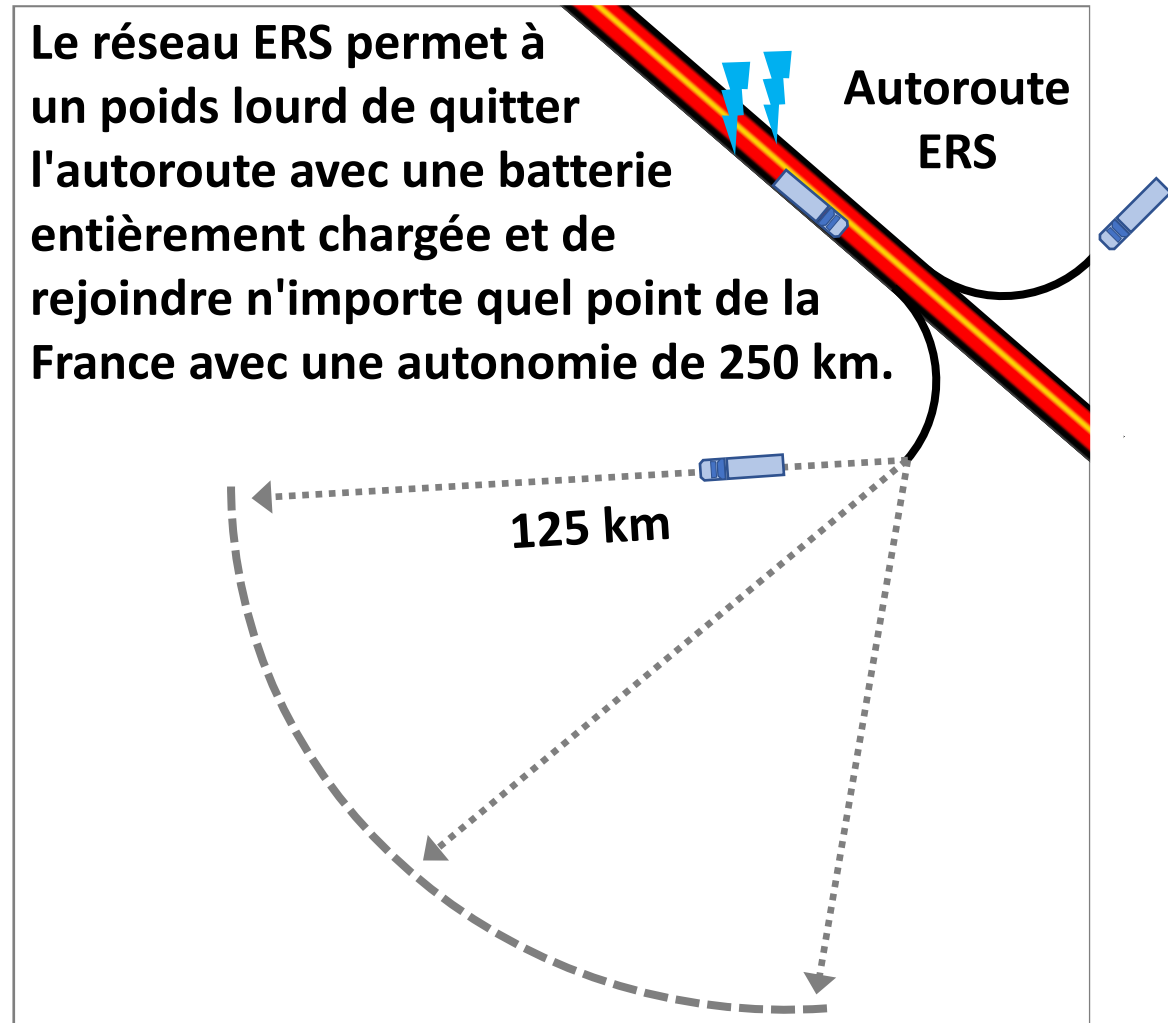
Données France

Trois technologies

Nos hypothèses

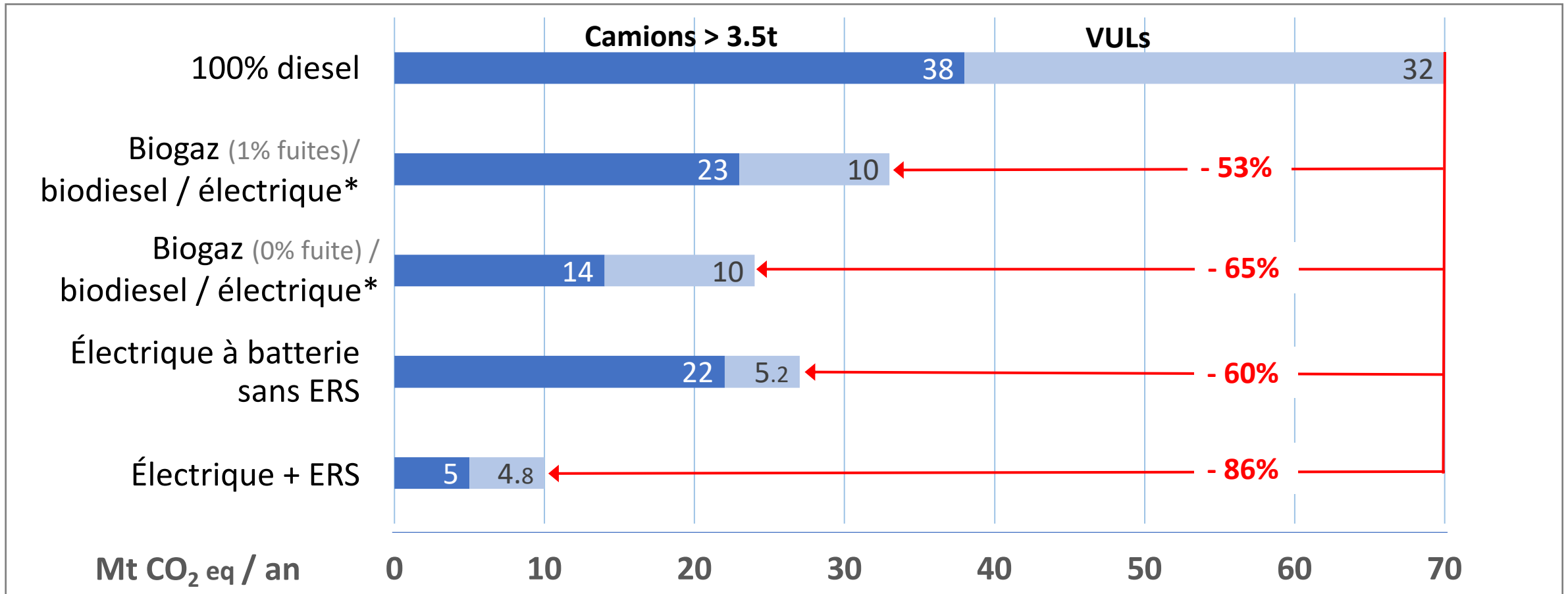
- Équipement de \approx **9000 km d'autoroutes**
- **Batterie de 370 kWh** permettant 250km d'autonomie pour un camion électrique en fin de vie*
- **Puissance délivrée: 350 à 400 kW** pour les cas les plus difficiles (44 t réfrigéré capable de se recharger à 100% sur ERS)

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



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 CO₂eq de plus par an permettant à 25% des voitures d'avoir une batterie plus petite (- 40kWh)

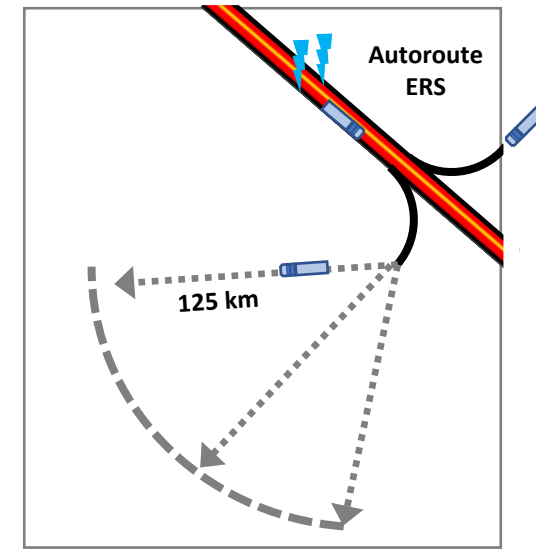
Résultats en résumé

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)

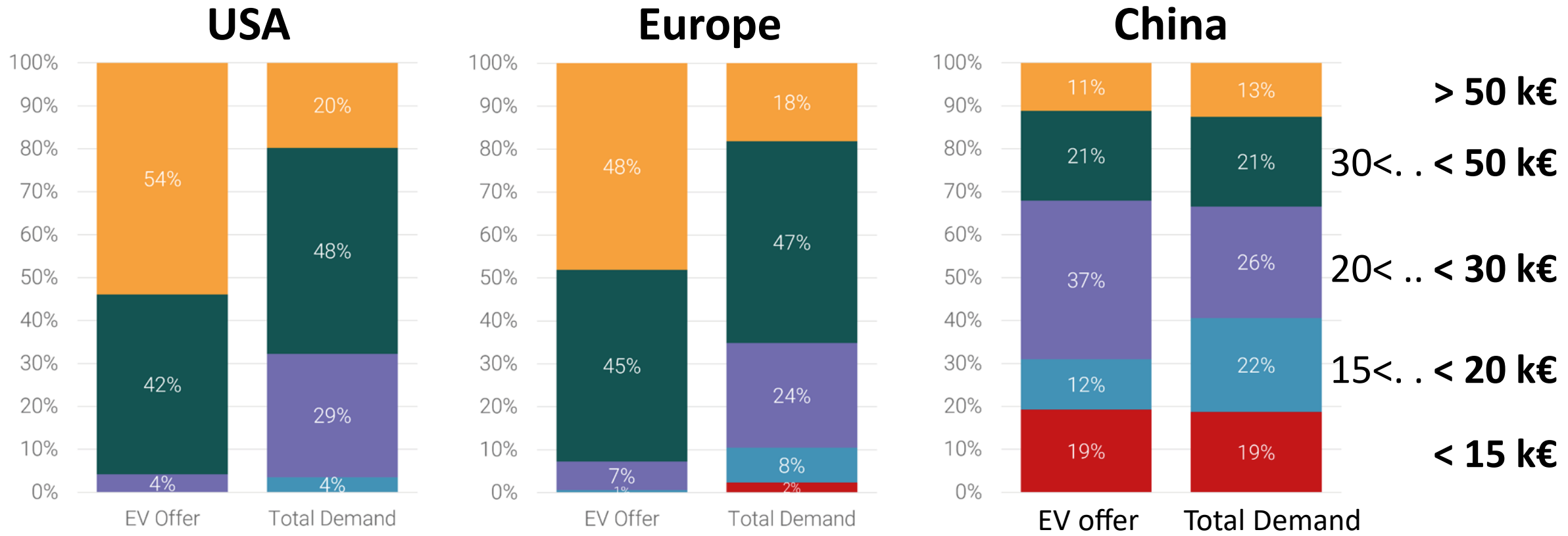
	NMC 811 50% LFP 50%	Production globale 2022 / réserves prouvées	Ressources estimées
Lithium	500 kt	130 kt / 26 000 kt	98 000 kt
Nickel	1,500 kt	2 700 kt  / 95 000 kt	300 000 kt
Cobalt	185 kt	170 kt / 7 600 kt	25 000 kt

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 CO₂
- 3) Pas d'autre choix qu'un parc de véhicules ≈ zéro carbone en 2050.
- 4) Donc véhicules neufs ≈ 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 H₂ 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