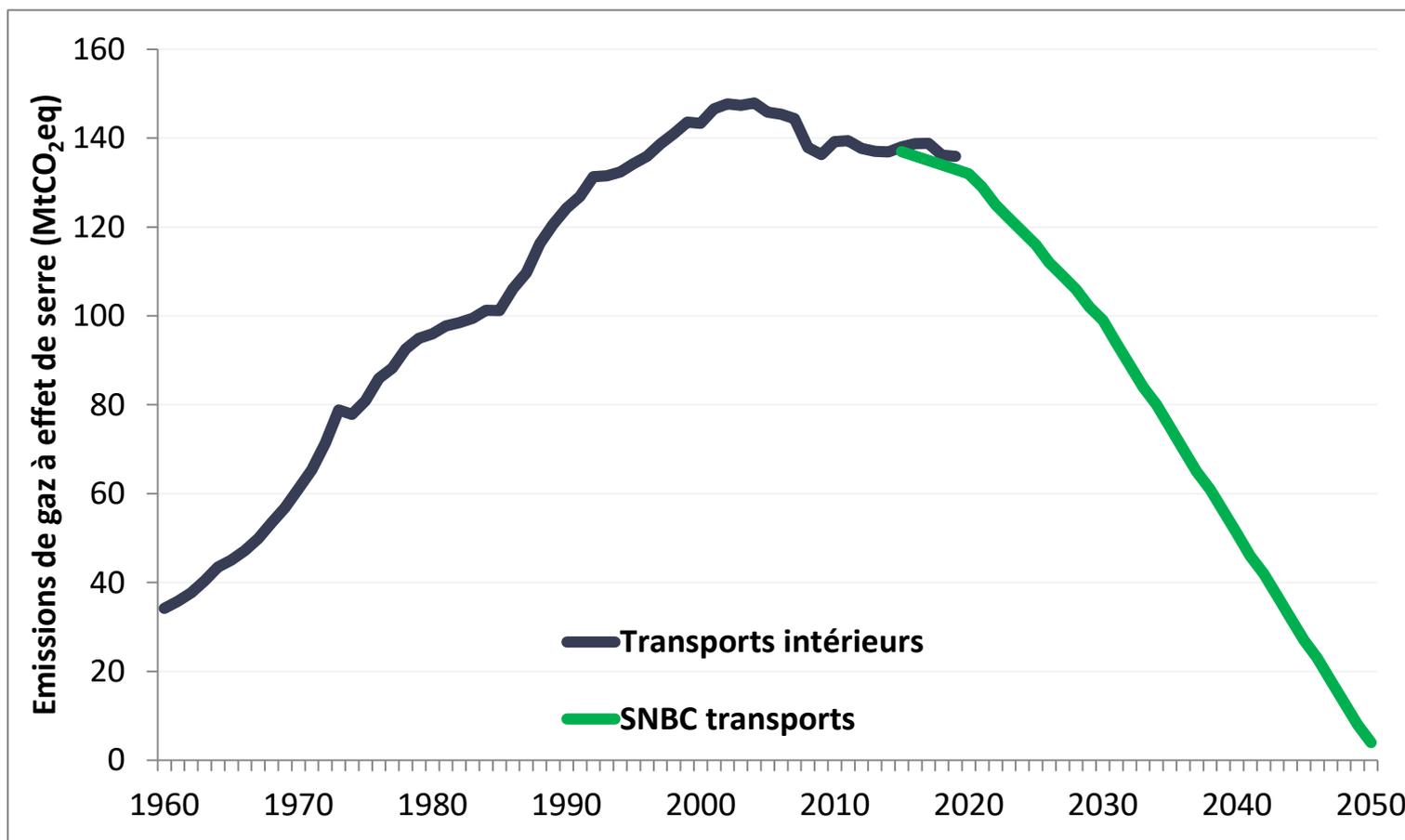


# Les transports face au défi de la transition énergétique

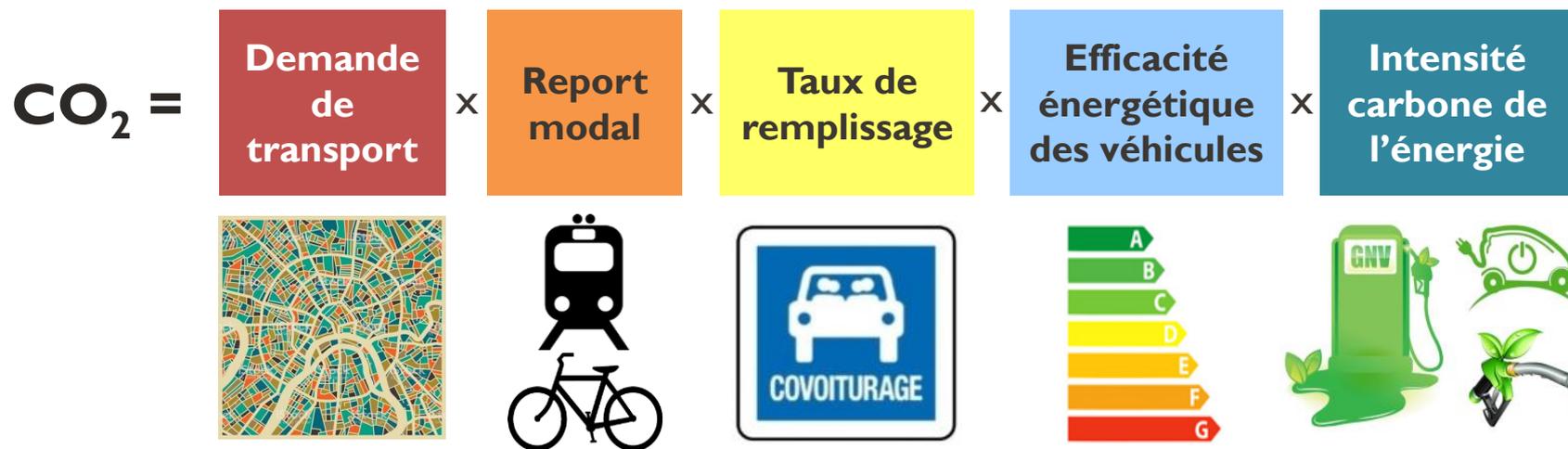
Explorations entre passé et avenir, technologie et sobriété, accélération et ralentissement

# Objectif décarbonation à 2050



Emissions des transports depuis 1960, et objectif de décarbonation des transports d'ici 2050

# 5 leviers pour réduire les émissions



## Les 5 leviers de décarbonation de la stratégie nationale bas-carbone (SNBC)

$$\text{CO}_{2,\text{Transport}} \equiv \sum_i D \cdot \frac{D_i}{D} \cdot \frac{C_i}{D_i} \cdot \frac{E_i}{C_i} \cdot \frac{\text{CO}_{2,i}}{E_i}$$

$D$  : demande de transport (voy.km ou t.km)

$D_i$  : demande de transport par mode  $i$  (voy.km or t.km)

$C_i$  : circulation des véhicules du mode  $i$  (veh.km)

$E_i$  : consommation énergétique du mode  $i$  (Mtep)

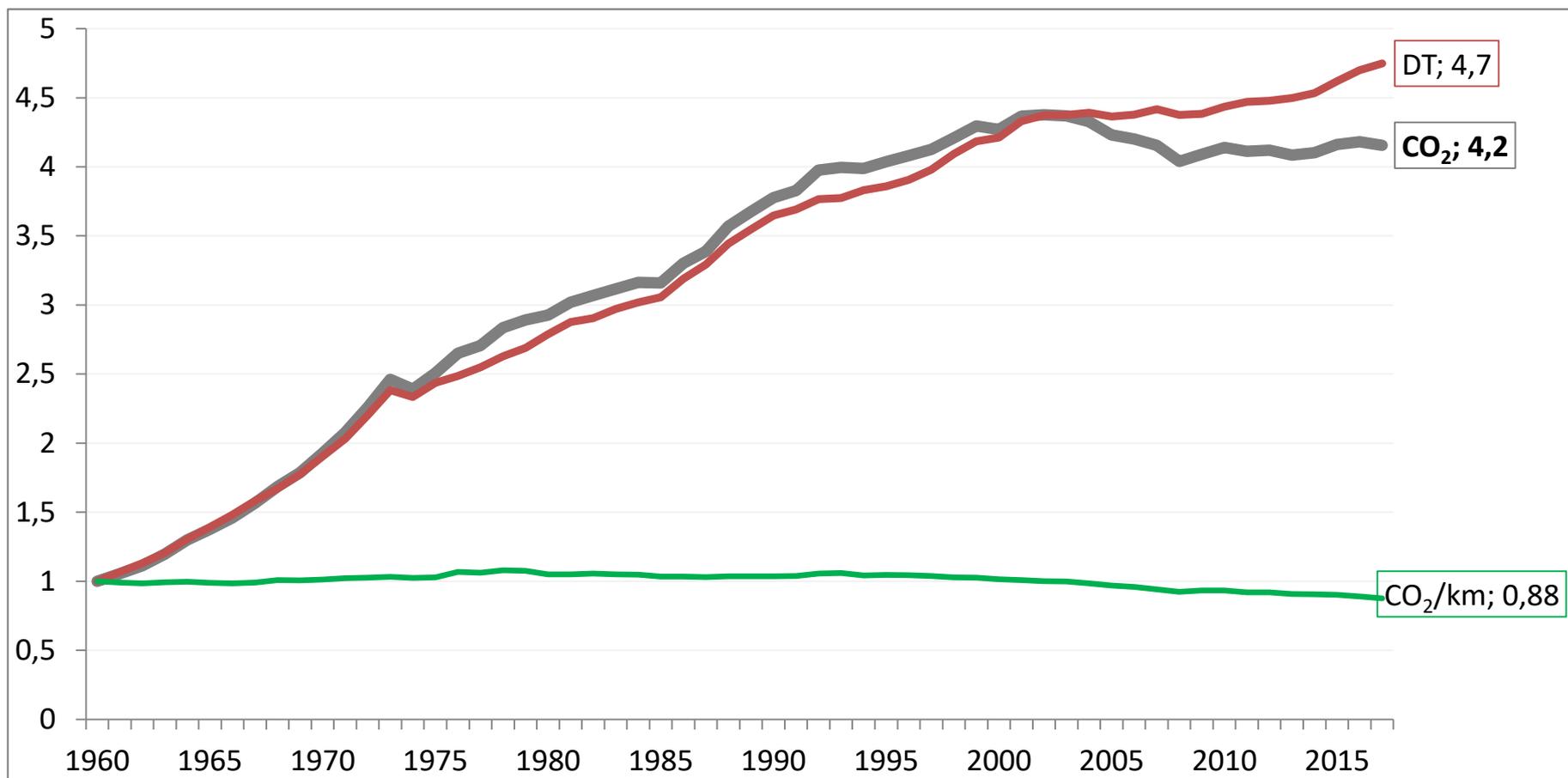
$\text{CO}_{2,i}$  : émissions de  $\text{CO}_2$  du mode  $i$  (Mt $\text{CO}_2$ )

# Comment expliquer l'évolution des émissions depuis 1960 ?

Décomposition sur la période 1960-2017

# Voyageurs 1960-2017

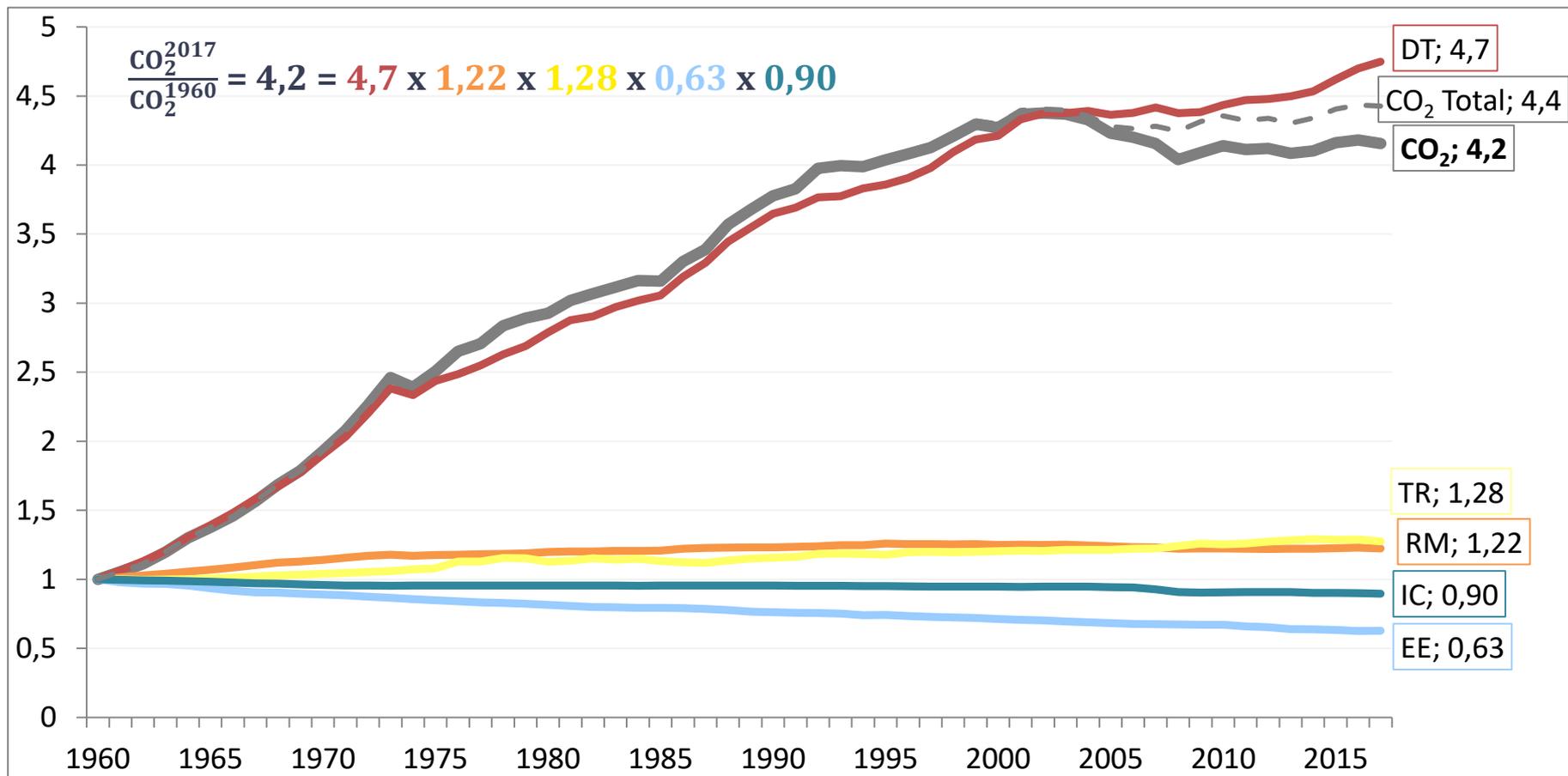
$$\text{CO}_2 = \text{Demande de transport} \times \text{Report modal} \times \text{Taux de remplissage} \times \text{Efficacité énergétique des véhicules} \times \text{Intensité carbone de l'énergie}$$



Variation des émissions de CO<sub>2</sub> du transport intérieur de voyageurs de 1960 à 2017  
(forme multiplicative, pas de 1 an)

# Voyageurs 1960-2017

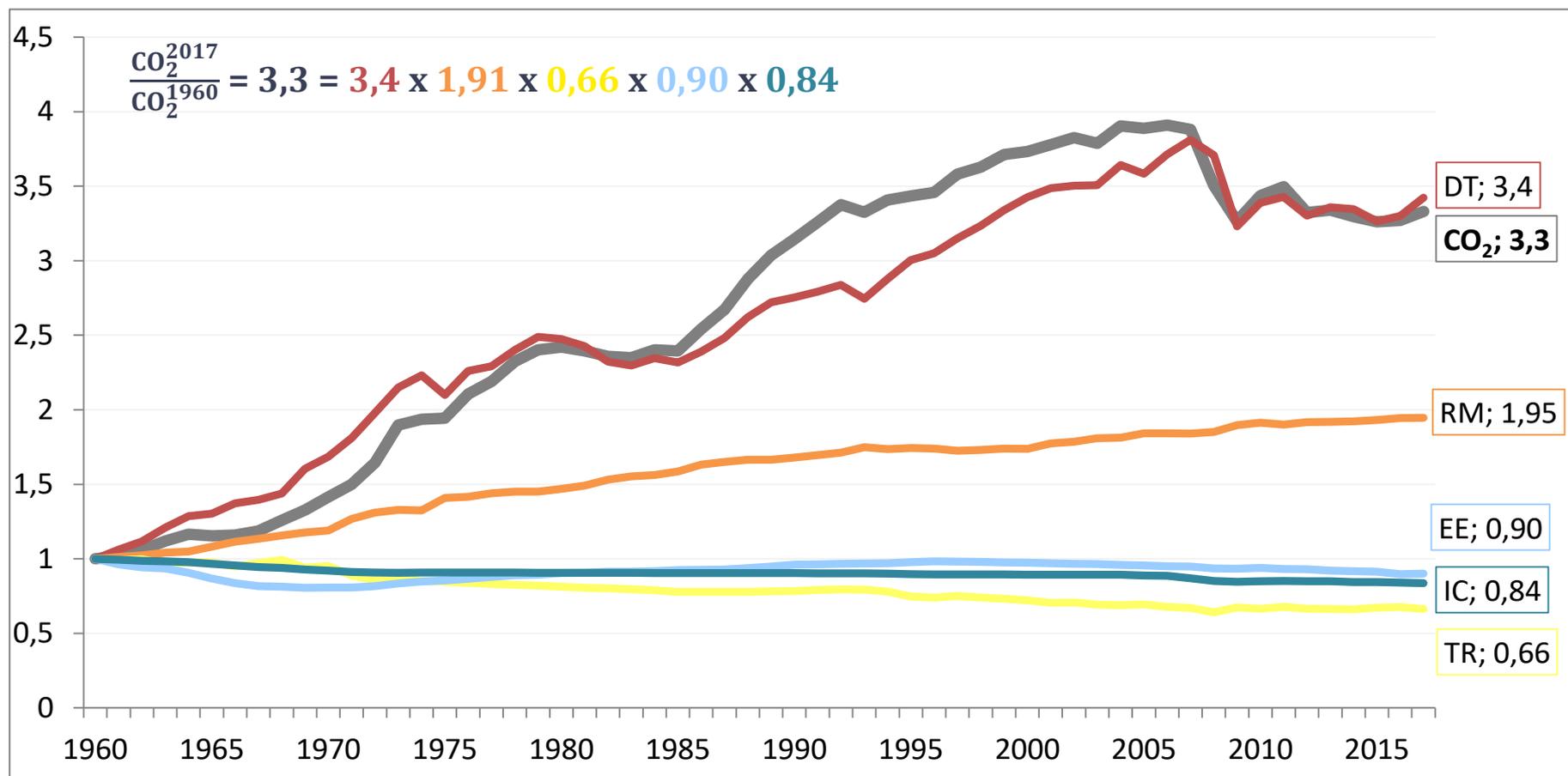
$$\text{CO}_2 = \text{Demande de transport} \times \text{Report modal} \times \text{Taux de remplissage} \times \text{Efficacité énergétique des véhicules} \times \text{Intensité carbone de l'énergie}$$



Variation des émissions de CO<sub>2</sub> du transport intérieur de voyageurs de 1960 à 2017  
(forme multiplicative, pas de 1 an)

# Marchandises 1960-2017

$$\text{CO}_2 = \text{Demande de transport} \times \text{Report modal} \times \text{Taux de remplissage} \times \text{Efficacité énergétique des véhicules} \times \text{Intensité carbone de l'énergie}$$



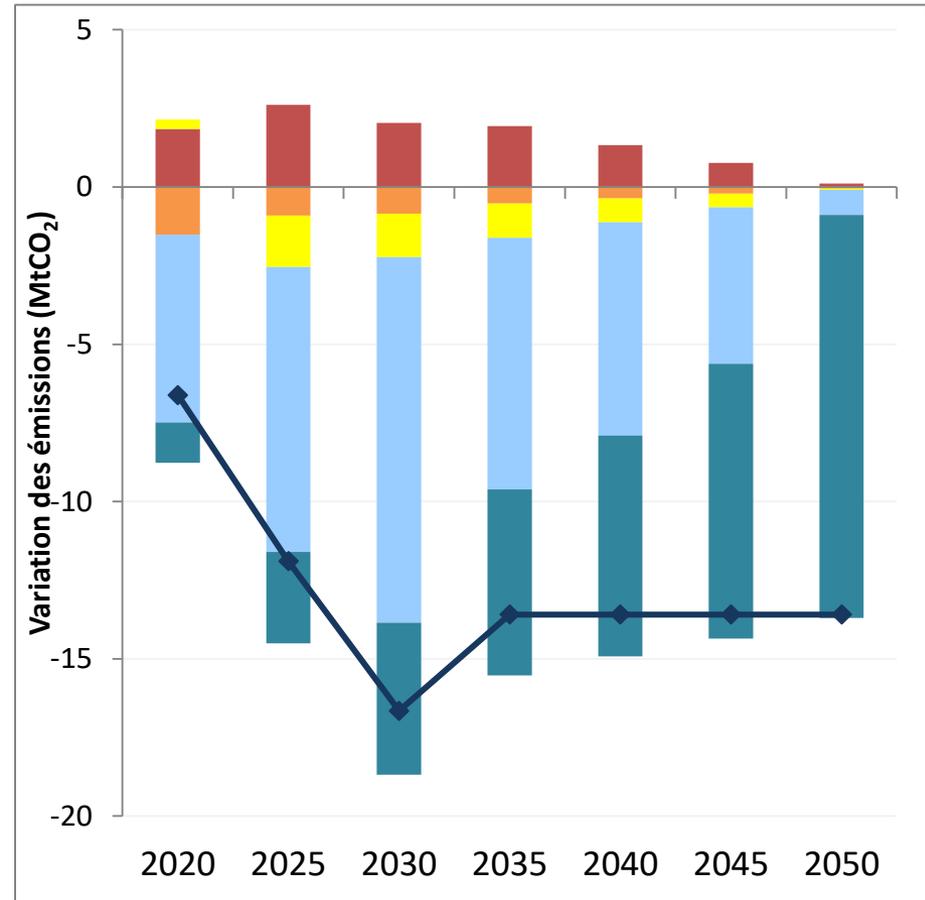
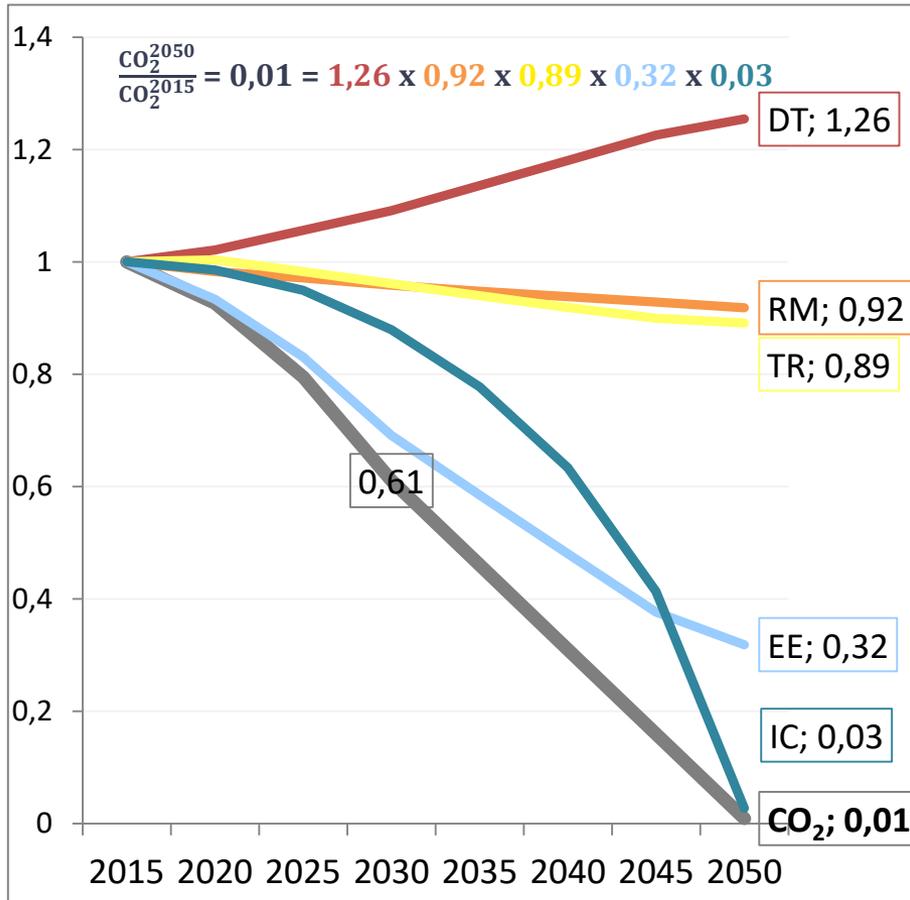
Variation des émissions de CO<sub>2</sub> du transport de marchandises de 1960 à 2017  
(forme multiplicative, pas de 1 an)

# Décompositions appliquées aux scénarios de prospectives

Comparaison des scénarios français  
Quels potentiels d'ici 2050 ?

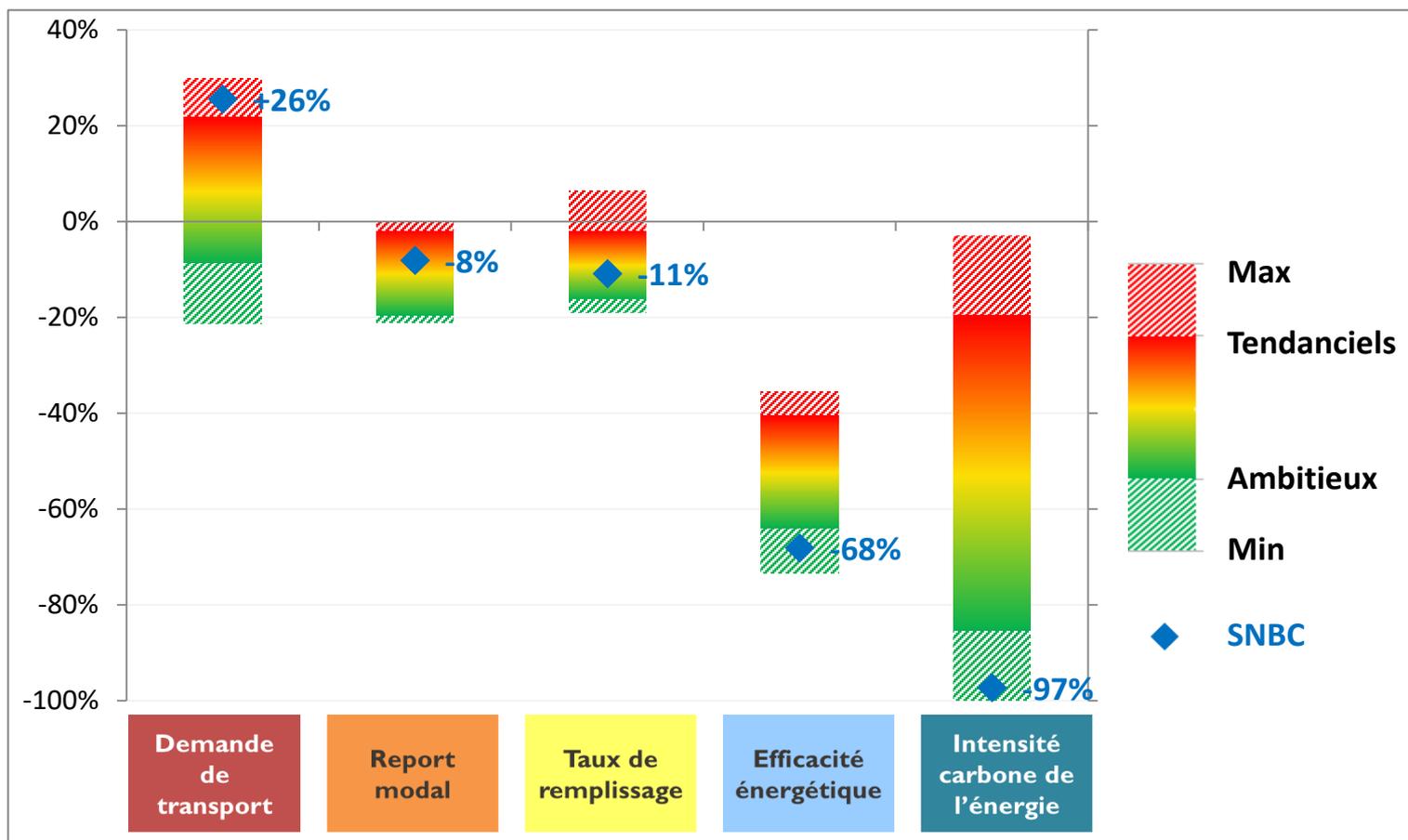
# SNBC - Voyageurs

$$\text{CO}_2 = \text{Demande de transport} \times \text{Report modal} \times \text{Taux de remplissage} \times \text{Efficacité énergétique des véhicules} \times \text{Intensité carbone de l'énergie}$$



**Décomposition des émissions de CO<sub>2</sub> des transports de passagers pour le scénario SNBC, 2015-2050**  
(forme multiplicative à gauche, additive à droite)

# Scénarios Voyageurs : Tendanciels vs. Ambitieux



**Décomposition des émissions de CO<sub>2</sub> des scénarios de transport de voyageurs jusqu'à 2050**  
 (formes multiplicative ; 4 scénarios tendanciels en rouge, 4 les plus ambitieux par facteur en vert, SNBC en bleu)

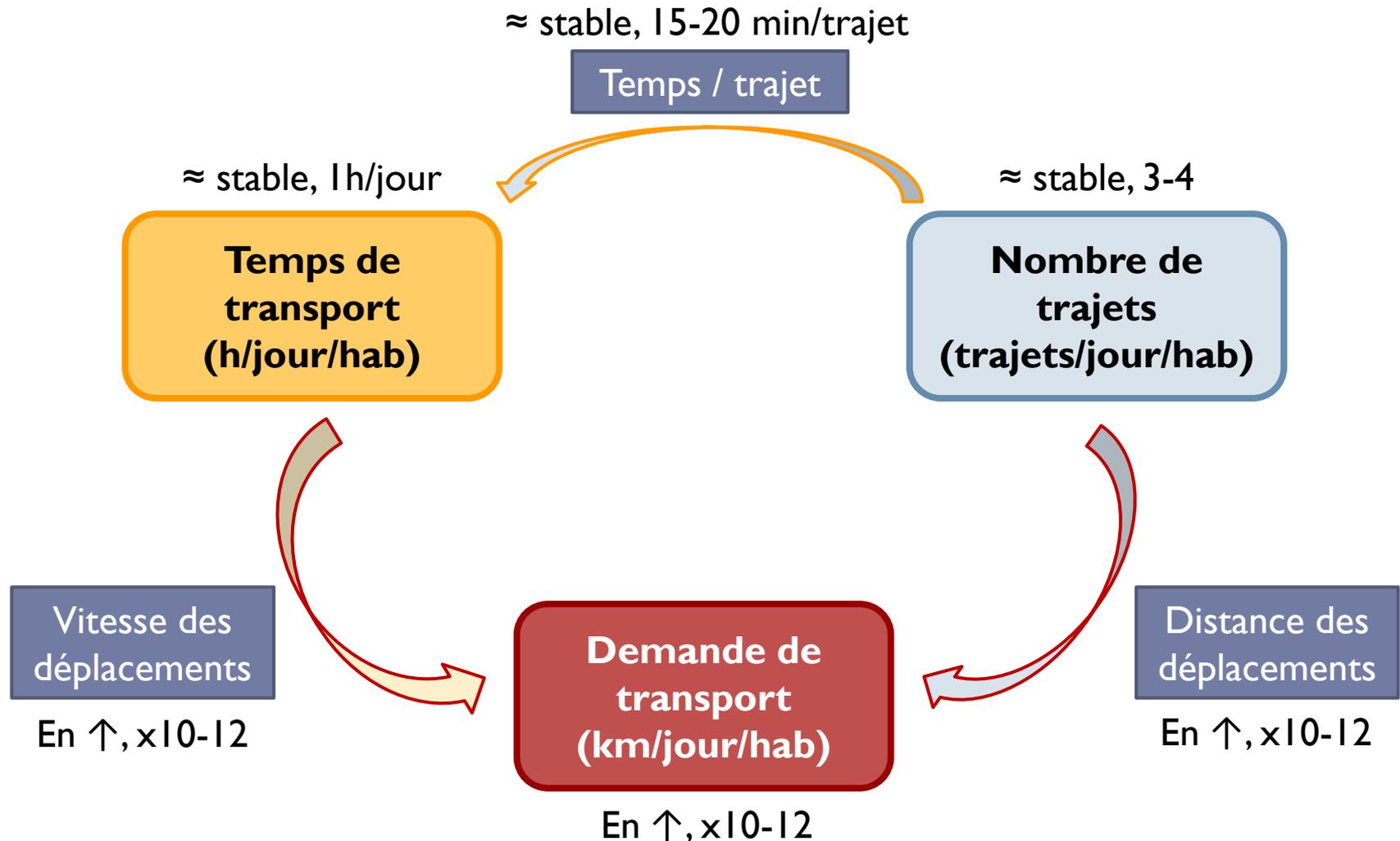


# Evolutions de la demande

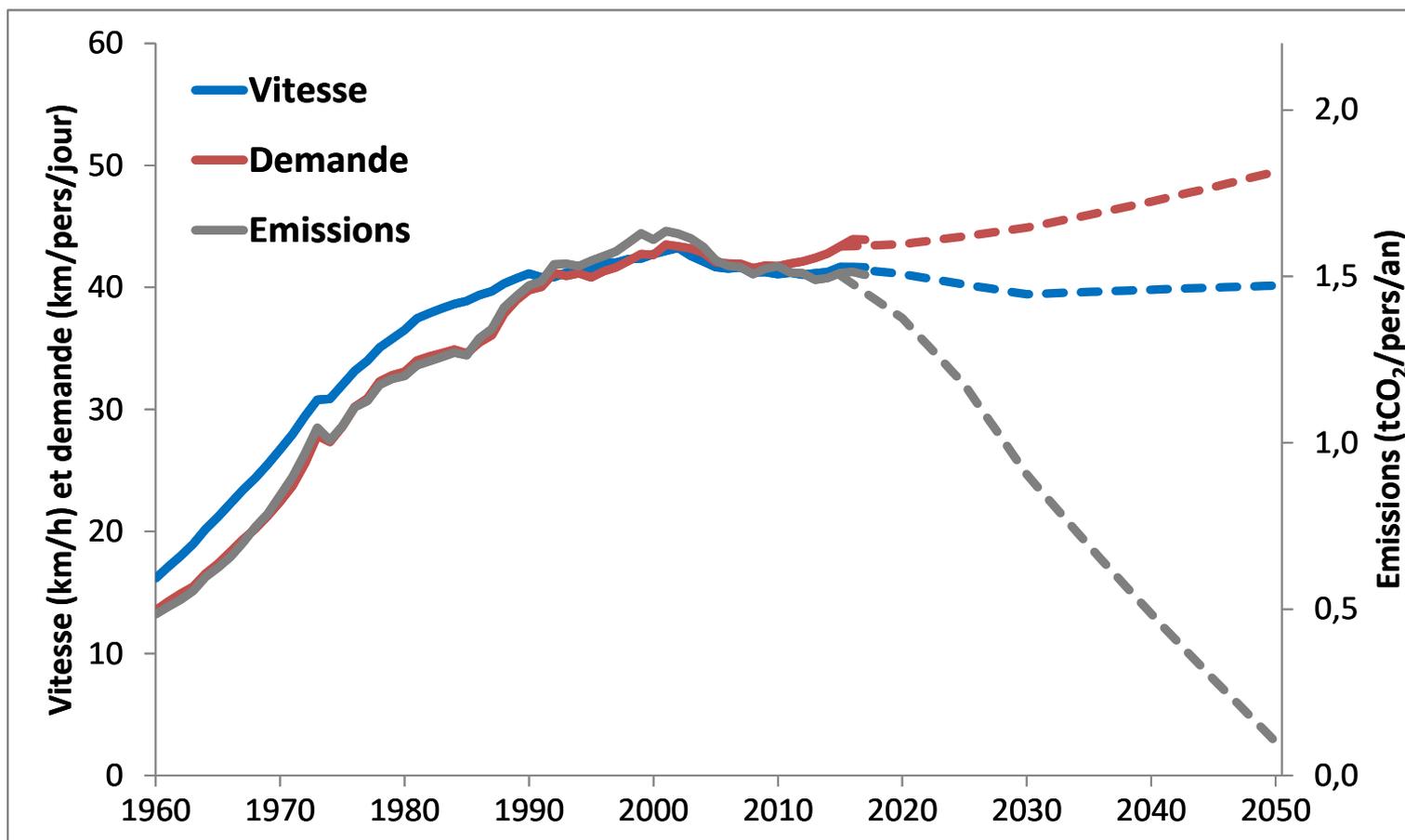
Quels facteurs clés ?

Démobilité, vitesse, aménagement...?

# Mobilités : quelles variables clés ?



# CO<sub>2</sub>, demande et vitesse (passé + SNBC)



**Evolution de la vitesse moyenne, de la demande et des émissions individuelles de 1960 à 2050**  
(périmètre Métropole ; voyageurs avec 60%VUL ; CO<sub>2</sub> biomasse inclus ; trajectoire 2015-2050 SNBC)

# Principaux enseignements

---

## 1) Le lien historique fort entre vitesse, distances et CO<sub>2</sub>

- Temps de transport proches d'1 h/jour en moyenne
- Faible découplage entre les kilomètres parcourus et les émissions

## 2) Un plafonnement de ces variables au début des années 2000

- Saturation / pic de la vitesse moyenne début 2000, lien avec les radars
- Faible effet des politiques publiques environnementales

## 3) Un fort découplage entre demande et CO<sub>2</sub> prévu d'ici 2050

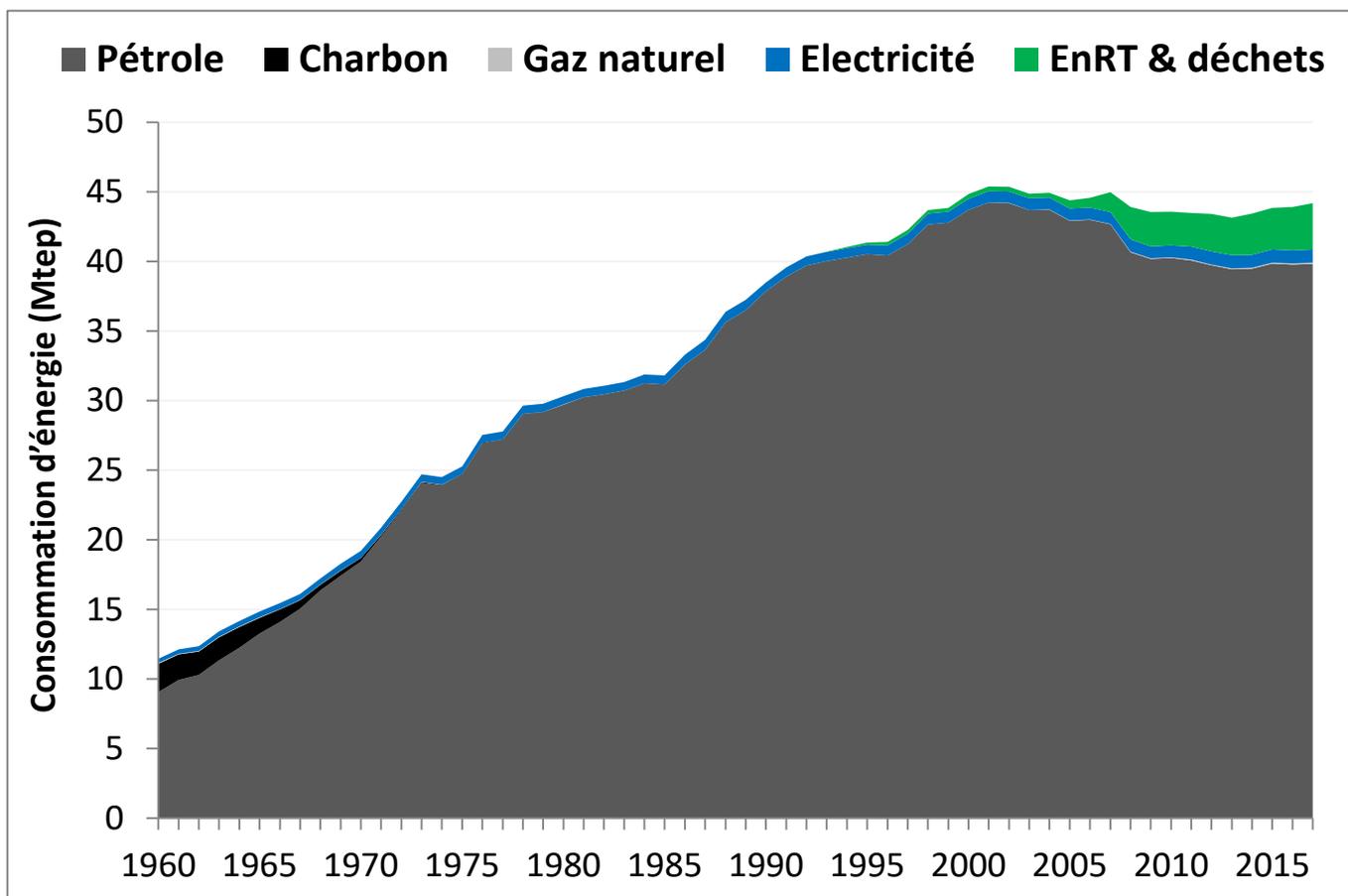
- Voyageurs : passage de -0,5 %/an de CO<sub>2</sub>/km à -3,8 %/an sur 2015-2030
- 2 leviers majeurs dans la SNBC : efficacité énergétique et intensité carbone

## 4) Technologie ET sobriété, des évolutions fortes à combiner

- La sobriété permettrait de diviser par 2 les consommations d'énergie
- Mesures de transition énergétique vont dans le sens d'un ralentissement

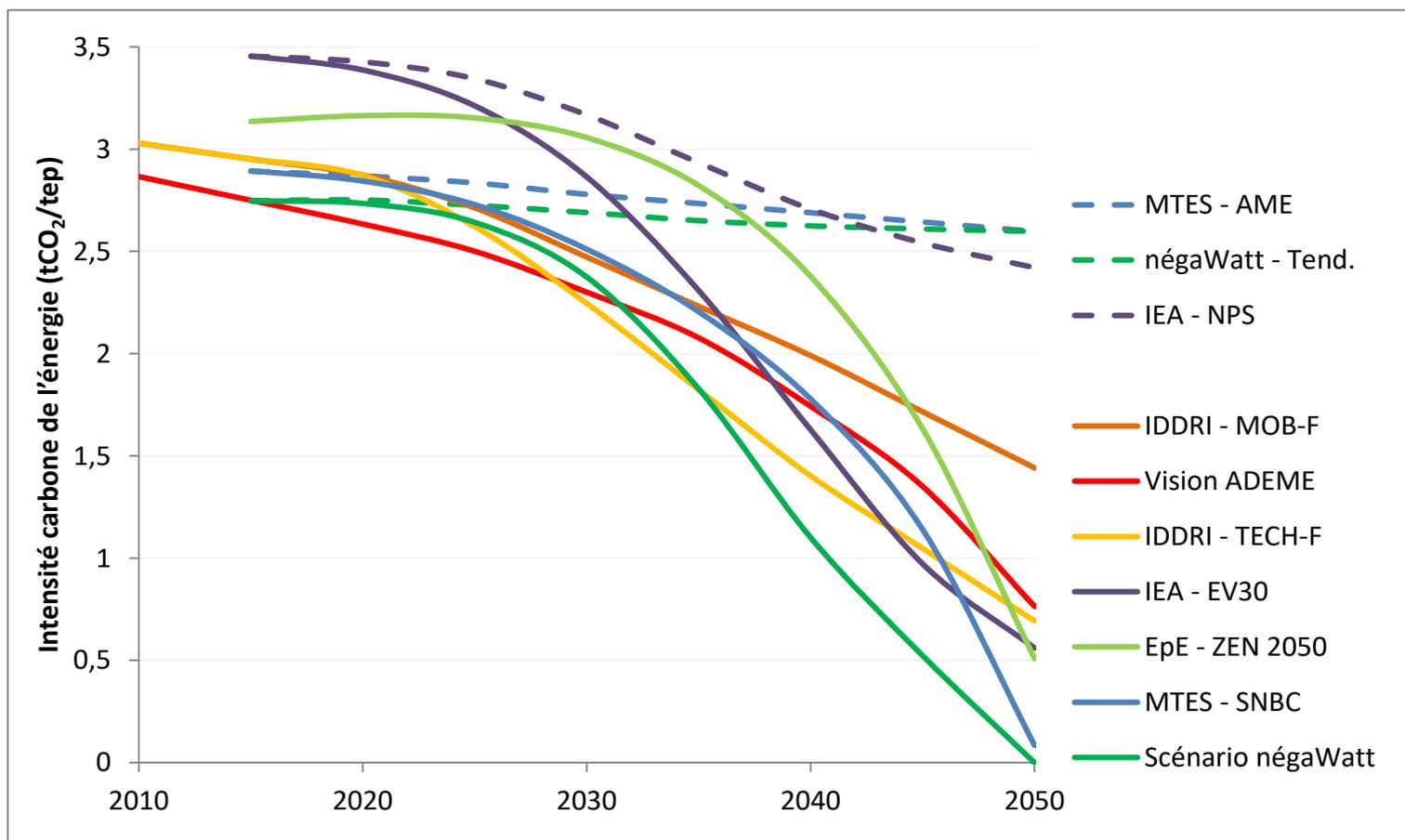
Quelles motorisations d'ici 2050 ?

# Des transports très dépendants au pétrole



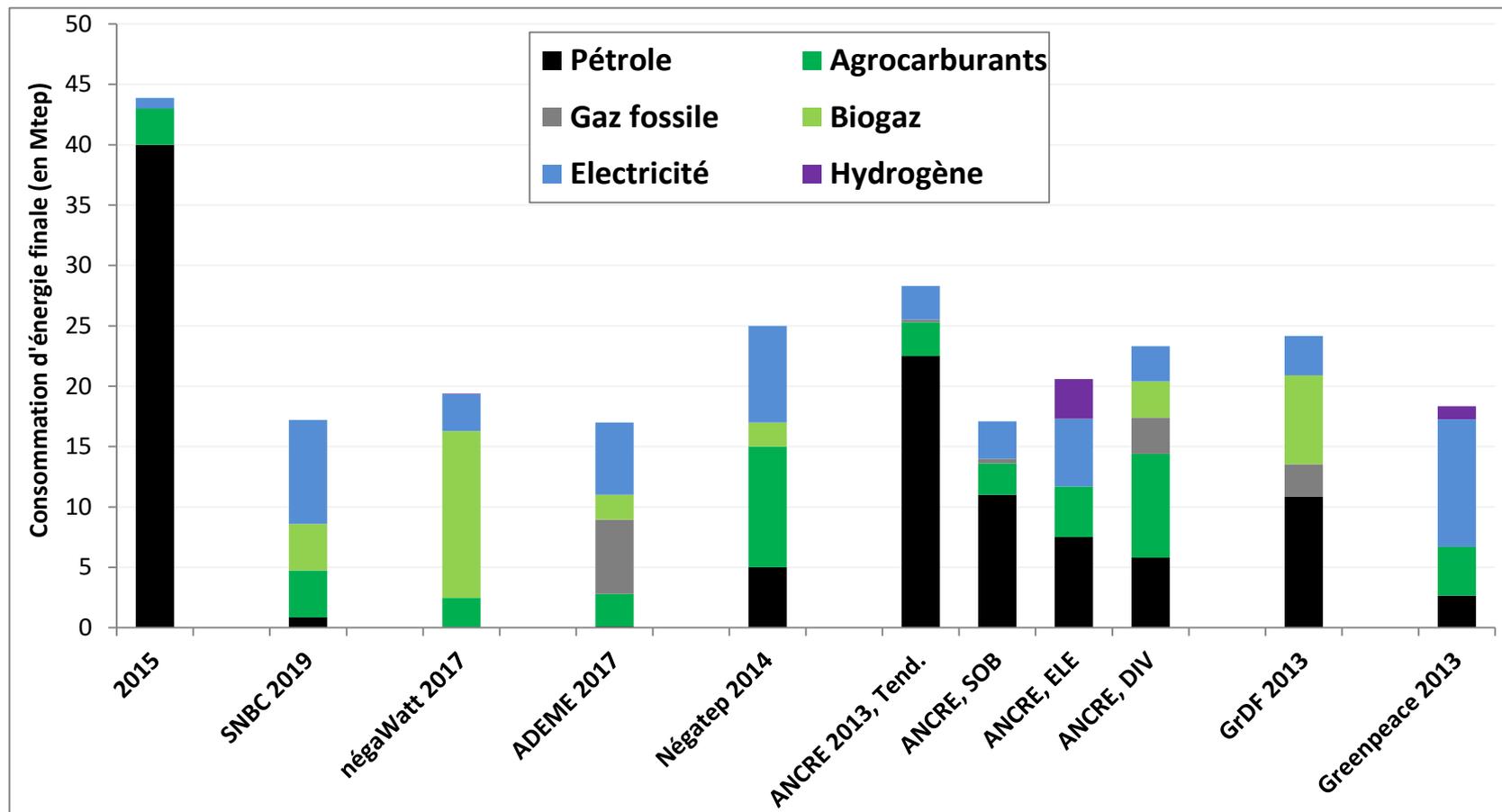
Part des différentes énergies dans la consommation des transports en France de 1960 à 2017

# La décarbonation progressive de l'énergie



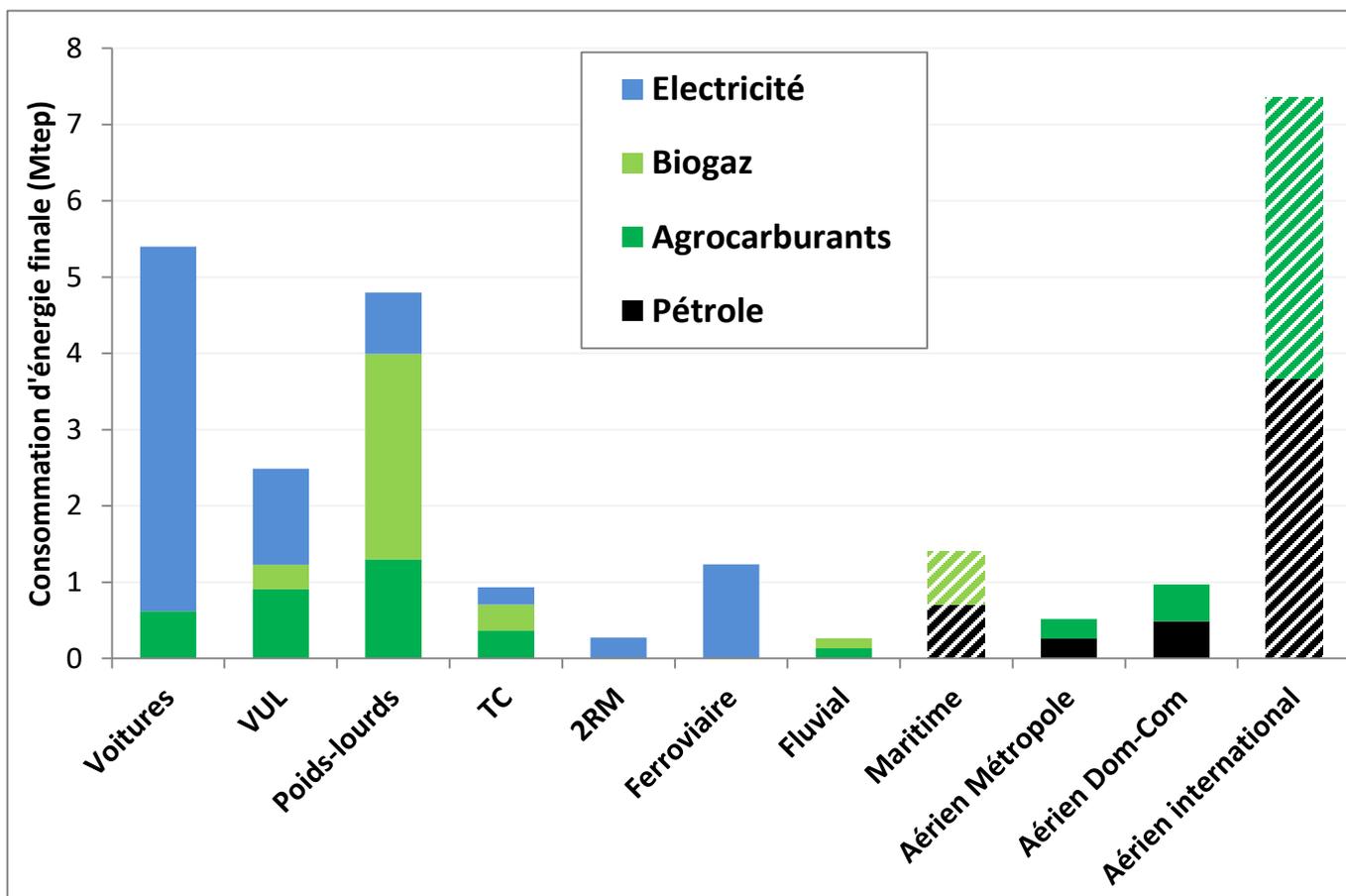
**Evolution de l'intensité carbone de l'énergie dans les transports d'ici 2050**  
(scénarios tendanciels en pointillés, volontaristes en traits pleins)

# En 2050, des options de mix énergétique diversifiées ?



Mix énergétique dans les transports en France, en 2015 puis en 2050 selon divers scénarios

# Le mix énergétique de la SNBC par mode



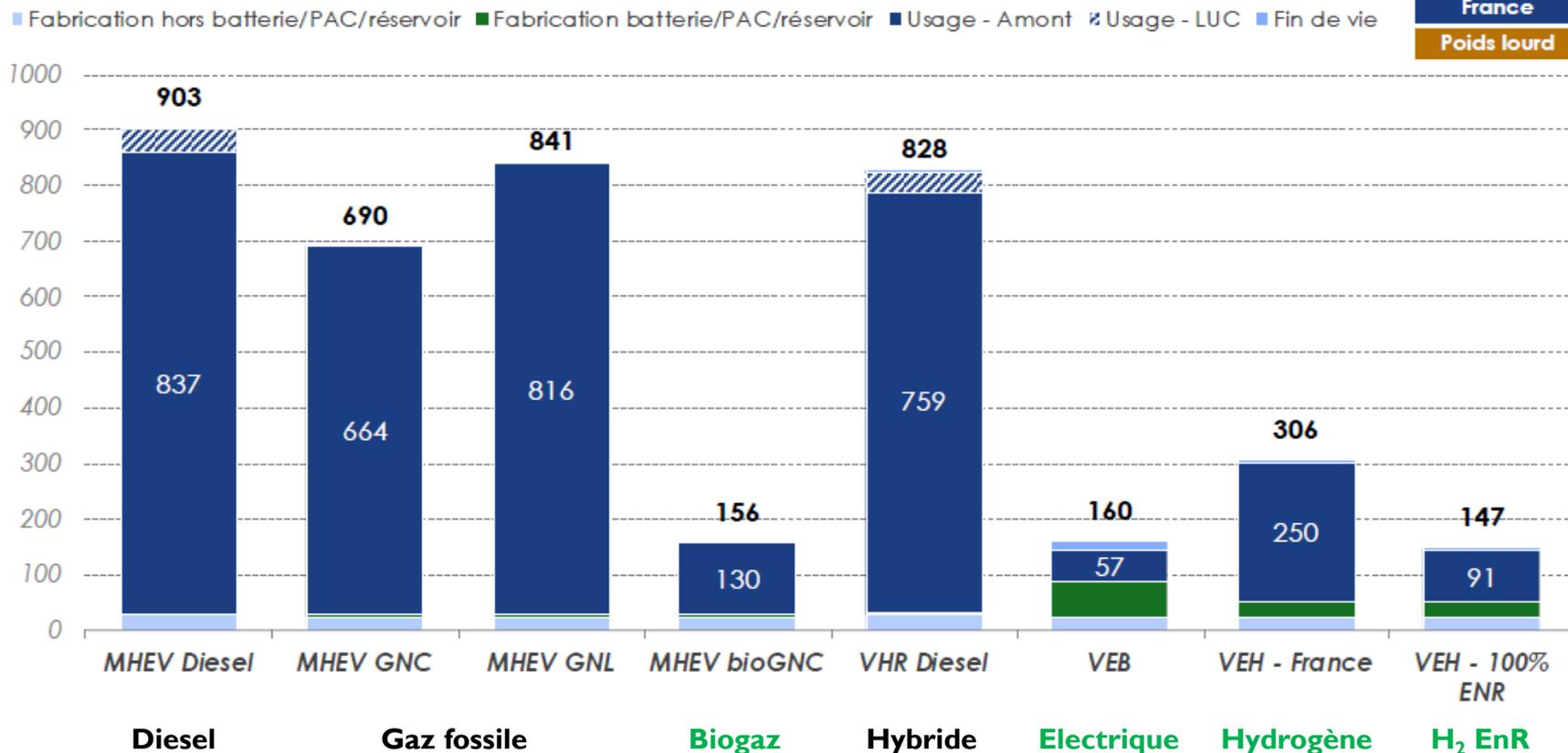
Mix énergétique par mode de transport en 2050 dans la SNBC

Transport international en hachuré ; VUL véh. utilitaires légers, TC transports en commun routiers, 2RM 2-roues motorisés

# Quelles baisses d'émissions en analyse en cycle de vie ?



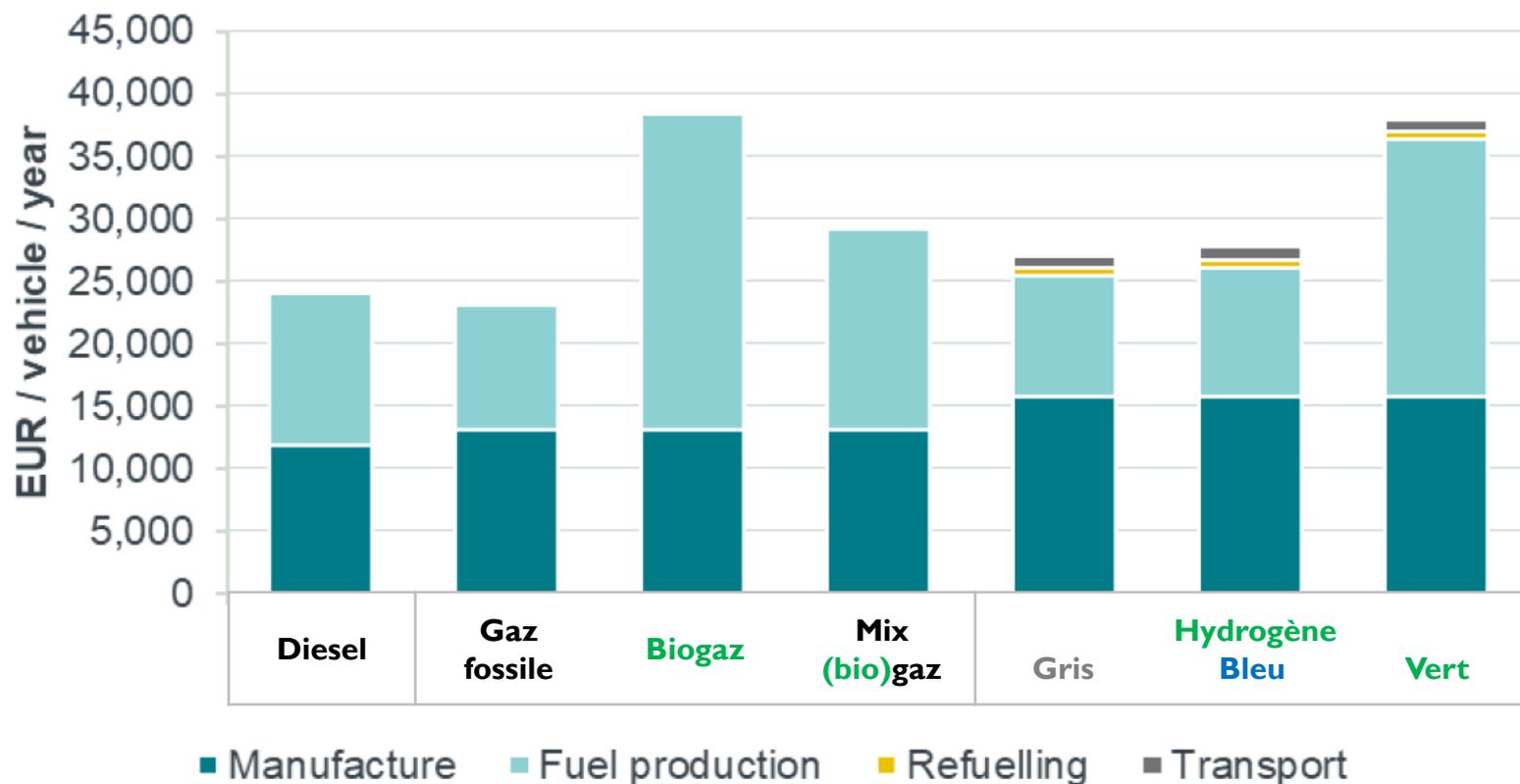
France  
Poids lourd



**Empreinte carbone moyenne sur la durée de vie d'un tracteur routier vendu en 2030 en France (gCO<sub>2</sub>e/km)**

MHEV = Véhicule Thermique à hybridation légère (Mild Hybrid) ; VHR = Véhicule Hybride Rechargeable ; VEB = Véhicule à Batteries ; GNL/GNC = Gaz Naturel Liquéfié / Comprimé ; VEH = Véhicule à Hydrogène (Pile à Combustible)

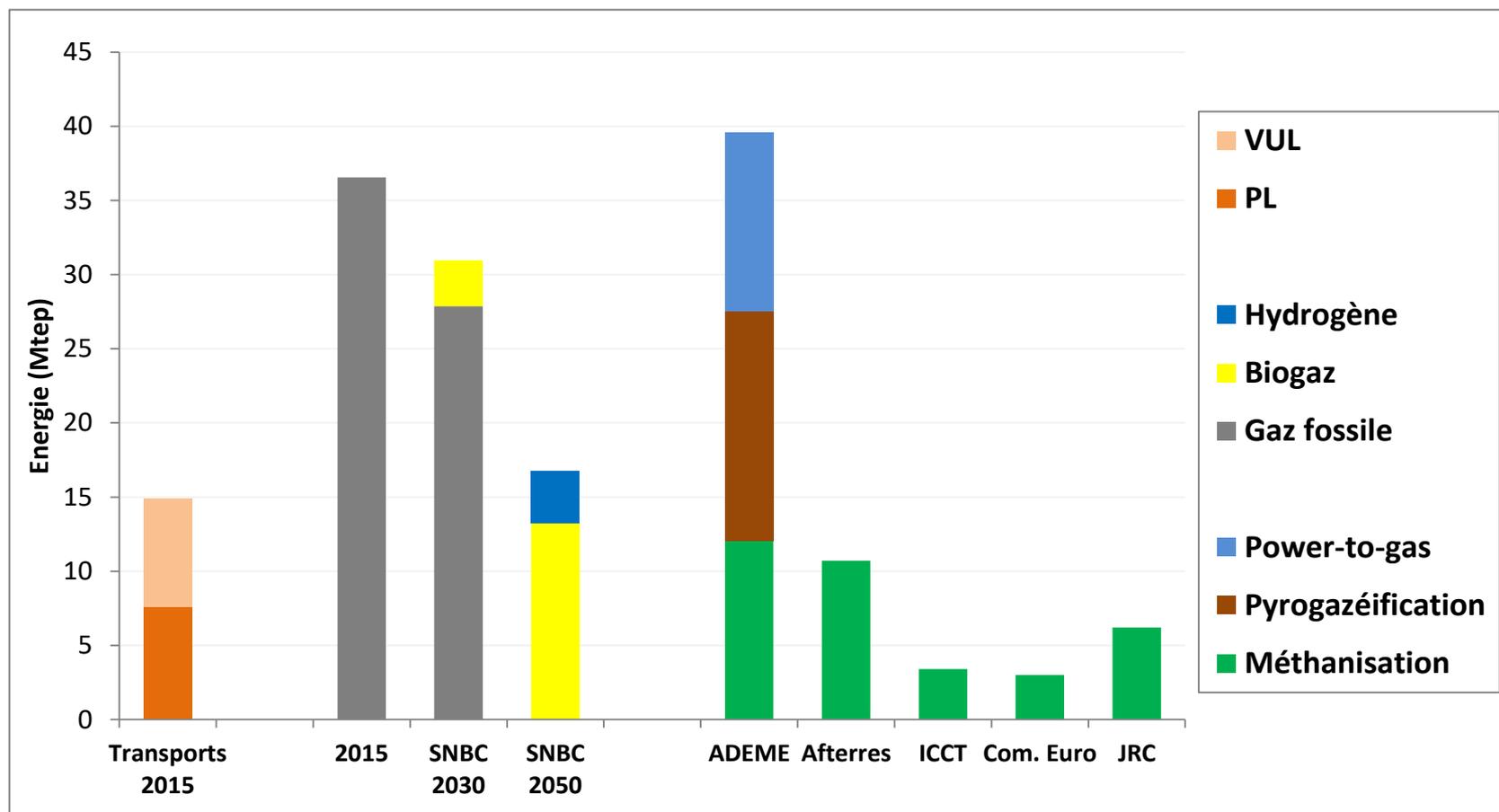
# Des coûts des technologies bas-carbone plus élevés ?



Source: Frontier Economics based on literature review

## Coûts totaux annualisés pour les poids-lourds en 2030 en Europe

# Quelles ressources disponibles ? Exemple du biogaz



Consommation des VUL et PL en 2015 ; consommation de gaz dans la SNBC, de 2015 à 2050 ; et estimations du potentiel de production de biogaz en France en 2050 selon plusieurs études

# Les choix de motorisations

## 1) Différenciés selon les modes de transport et les véhicules

	Voitures	2 roues	VUL	Poids-lourds	Bus et cars	Trains	Navires	Avions
Electrique								
Hydrogène								
Biogaz								
Biocarburants								
Carb. synthétiques								

## 2) Critères à prendre en compte

- Les contraintes techniques des technologies
- L'impact climatique et environnemental
- La disponibilité des ressources (biomasse, métaux, électricité, etc.)
- Le coût du système

## 3) Des freins à lever, des progrès à réaliser

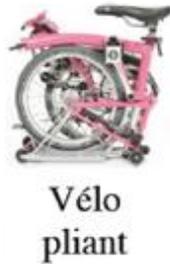
- Coûts et caractéristiques techniques
- Infrastructures de recharge, autonomie
- La décarbonation de l'énergie utilisée

## 4) Technologies : des évolutions indispensables, bien qu'insuffisantes

- Des évolutions à combiner avec les usages, la sobriété

# Véhicules low tech, intermédiaires entre vélo et voiture

# Le potentiel inexploité des modes intermédiaires



Mode  
actif  
passif

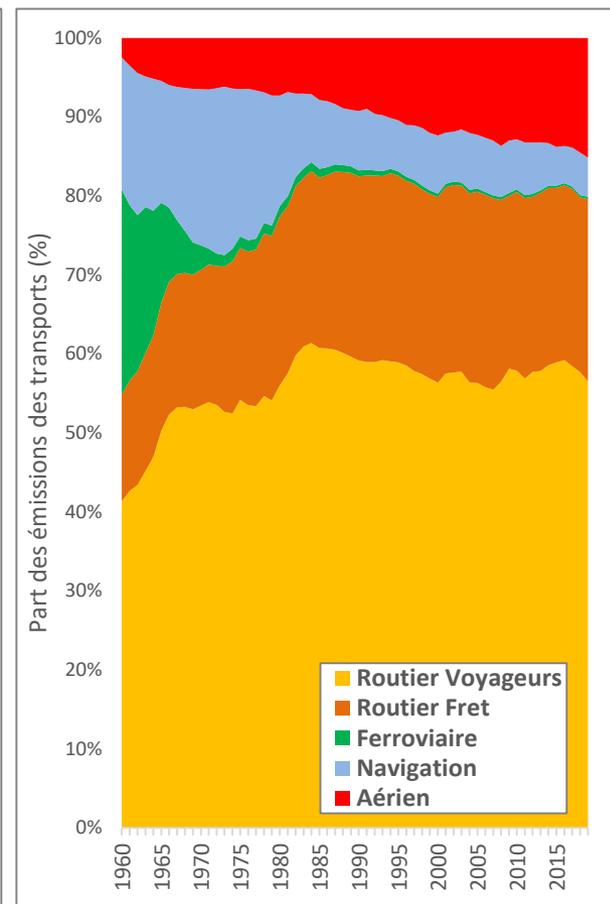
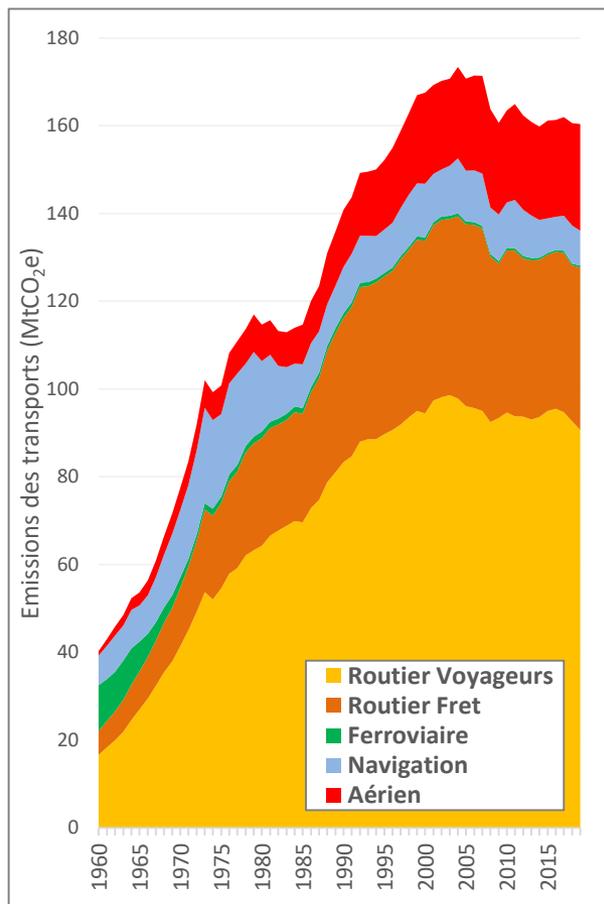
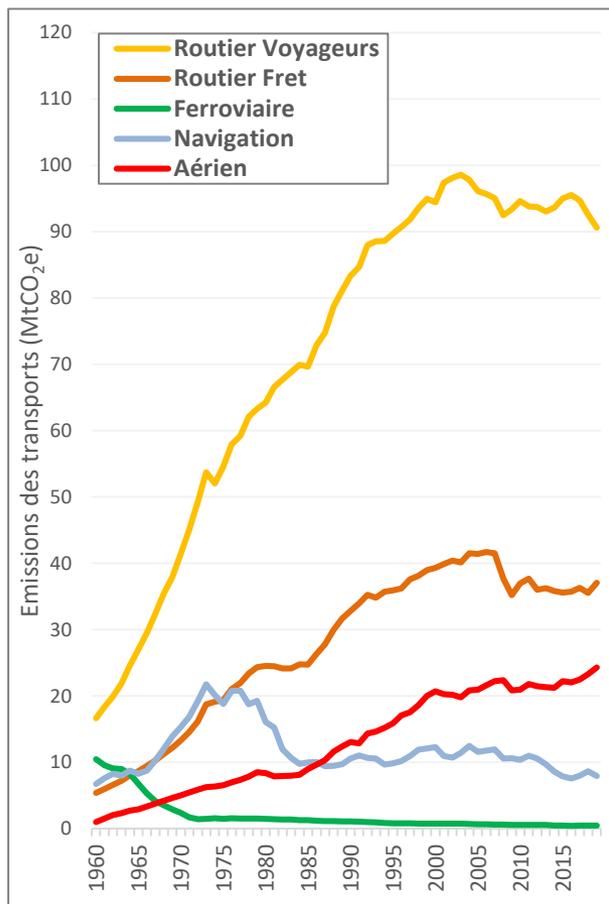
Mini-voiture



# Autres diapositives

Quelques compléments...

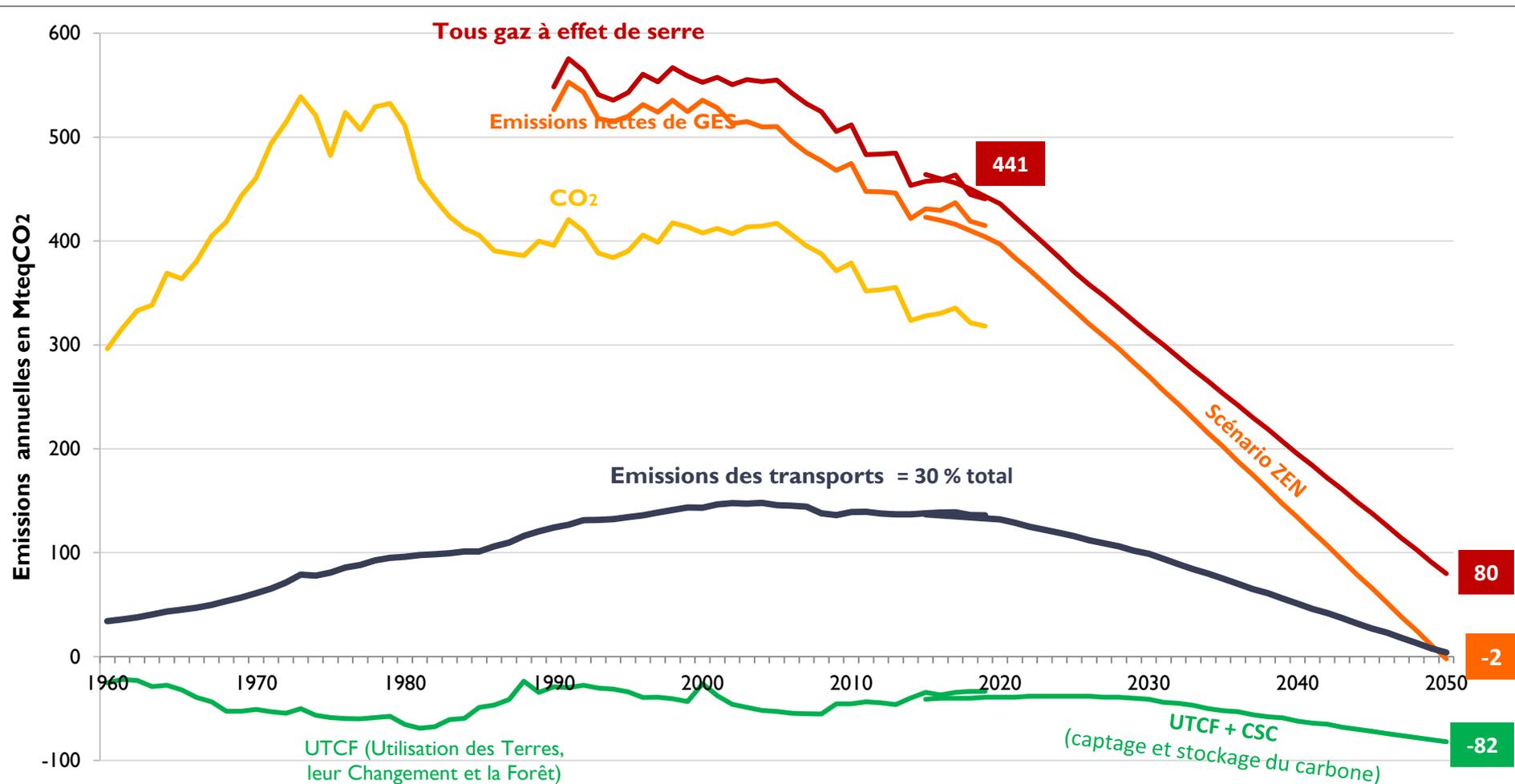
# Emissions des transports 1960-2019



Emissions de gaz à effet de serre (GES) des transports en France par mode, de 1960 à 2019

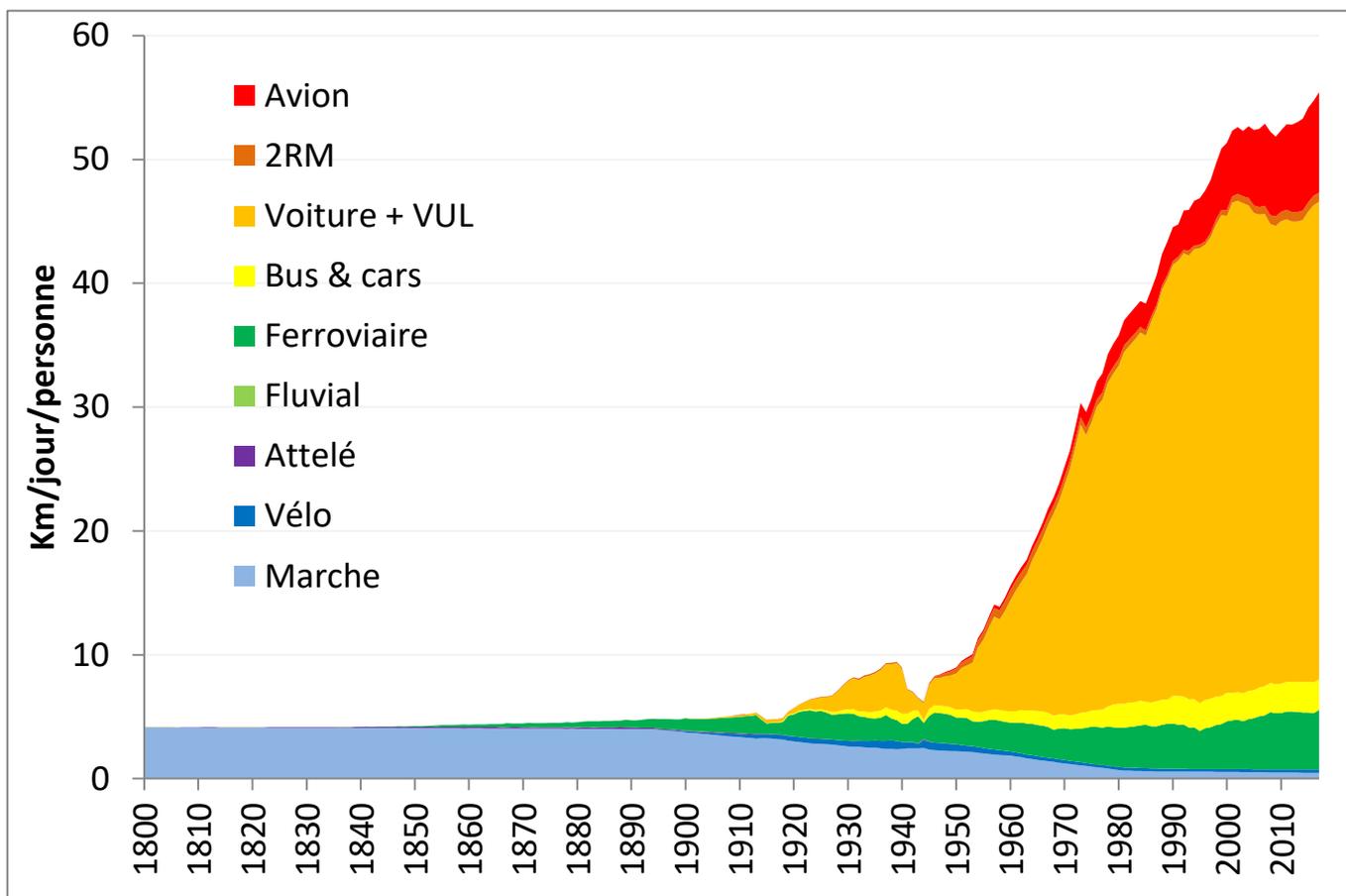
Tous GES ; transports internationaux inclus ; données CITEPA

# Objectif neutralité carbone à 2050



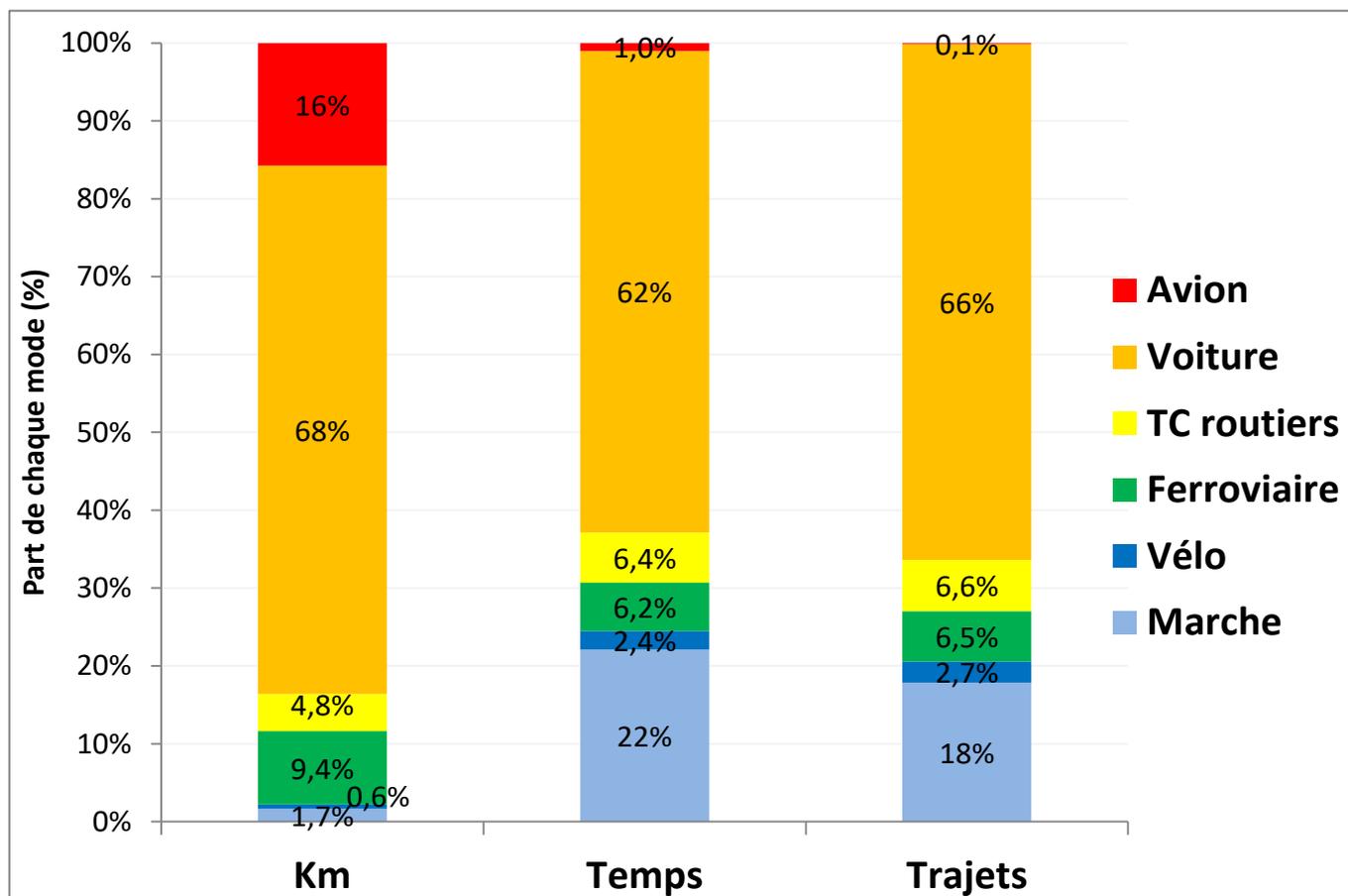
## Comparaison des objectifs et trajectoires de Facteur 4 et neutralité carbone

# La croissance des kilomètres parcourus



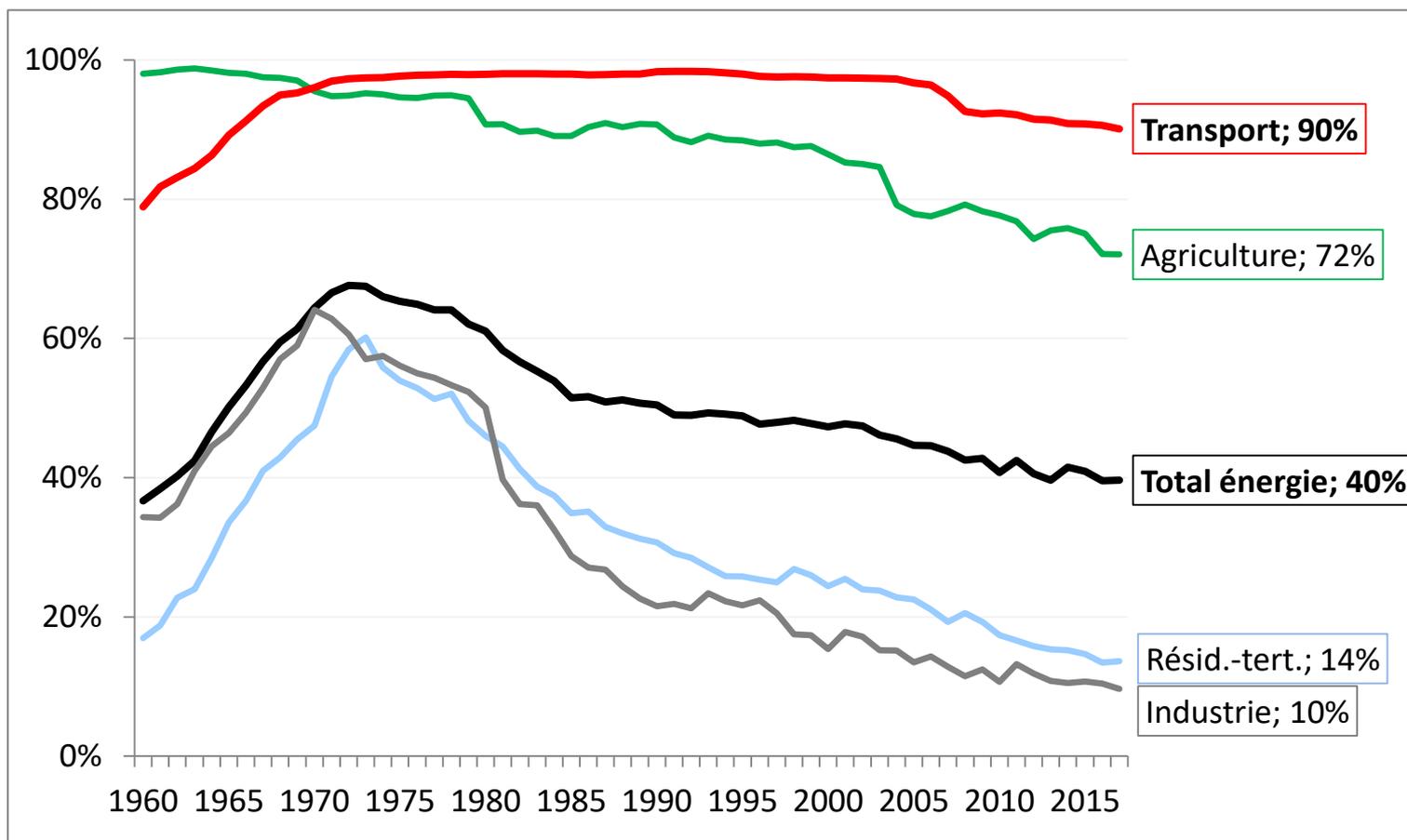
Les kilomètres parcourus par jour par mode de transport, de 1800 à 2017

# Part des différentes modes de transport



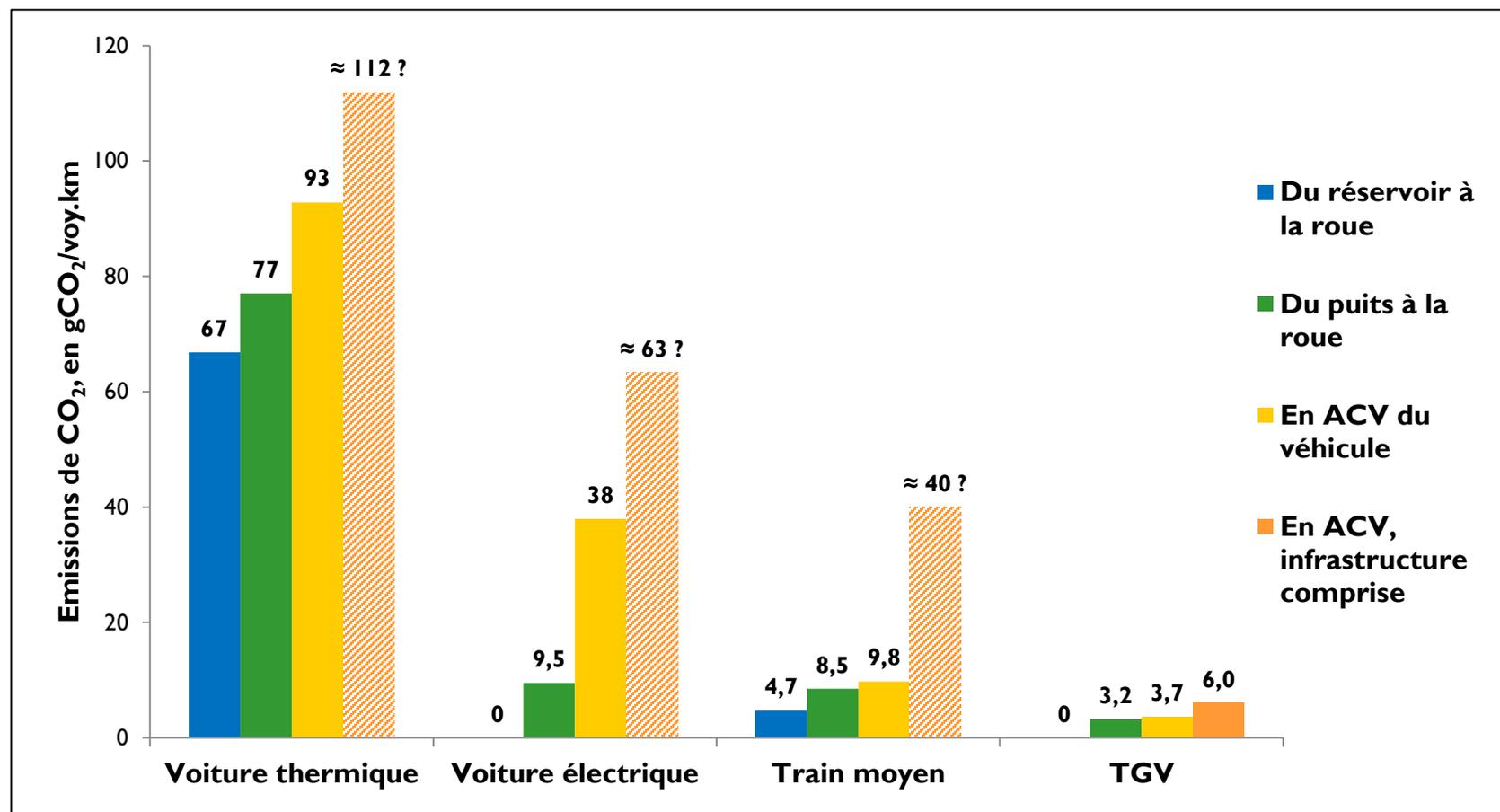
Part des modes de transport en 2017 selon le critère retenu :  
km parcourus, temps de transport et nombre de trajets

# La dépendance au pétrole des différents secteurs



Part des produits pétroliers dans la consommation finale d'énergie par secteur en France de 1960 à 2017

# Voiture électrique : le besoin d'ACV



## Emissions de CO<sub>2</sub> en voiture et en train selon le périmètre du bilan carbone.

L'analyse infrastructure comprise correspond essentiellement à des émissions passées et présente plus d'incertitudes

# Interactions et effets rebonds entre les évolutions

Impact	Demande de T.		Report modal					Tx rempli	Efficacité Ener.			Intensité Carb.																	
	Densification	- Etalement	Télétravail	Commerce proximité	Prod. et conso. locales	+ Bus et cars	+ Train	+ Vélo	- Avion	- Voiture	+ Fret fer. et fluvial	- Poids-lourds	Covoiturage	Autopartage	TR Poids-lourds	↓ poids véhicules	↓ vit. axes rapides	↓ vitesse en ville	Ecoconduite	Progrès moteur	Electrique	Agrocarburants	GNV	BioGNV	Hydrogène	Taxe carbone	Sobriété	Technologie	
Positif																													
Neutre																													
Négatif																													
Incertain																													
DT	?	?	?	?																									
RM																													
TR																													
EE																													
IC																													
Emissions indirectes	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

Principales évolutions suggérées pour la transition énergétique, et leurs interactions avec les autres facteurs (en rouge, les principales mesures favorisées par le passé)

GNV = gaz naturel véhicule



