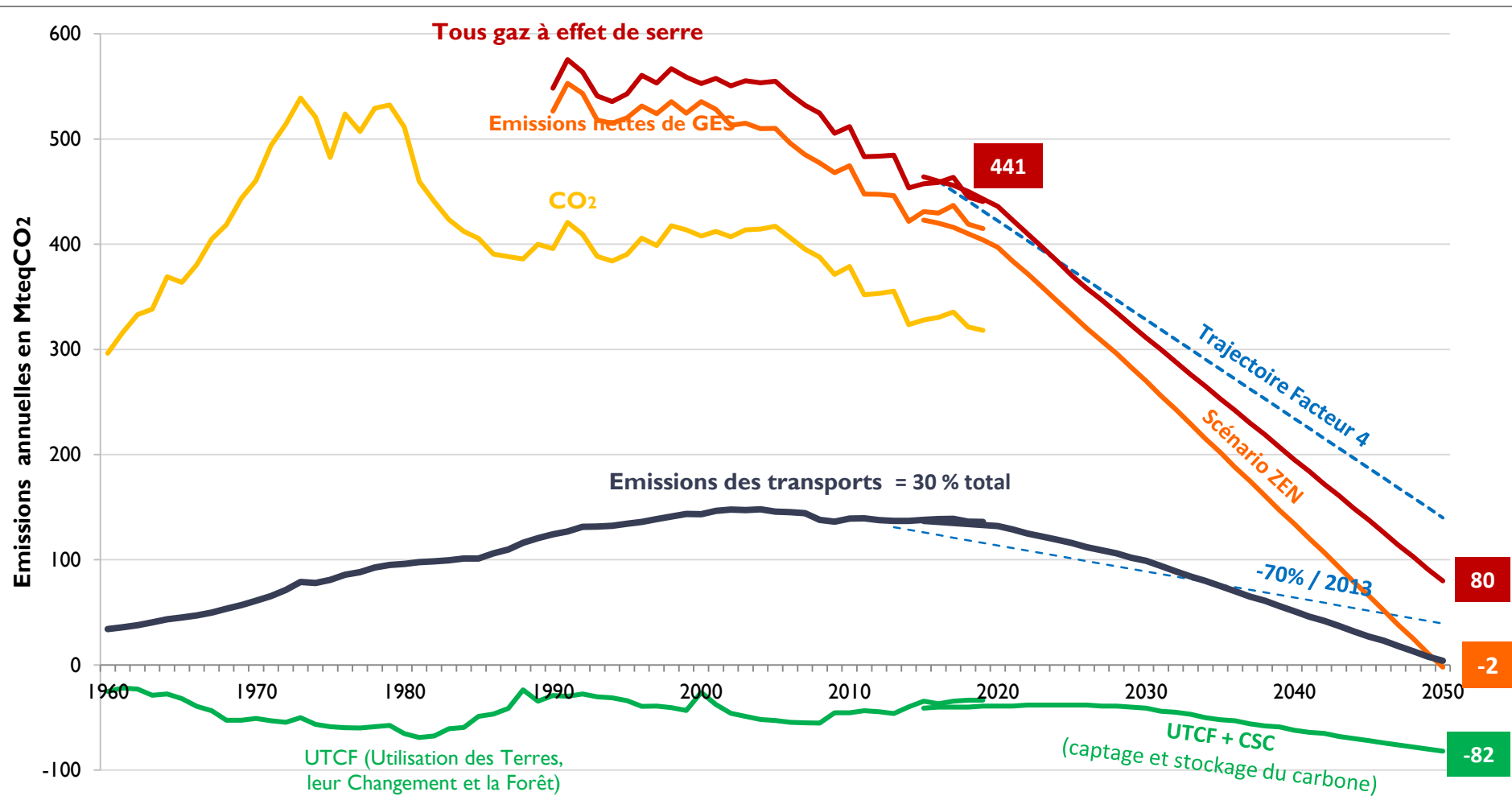


Les transports face au défi de la transition énergétique #1

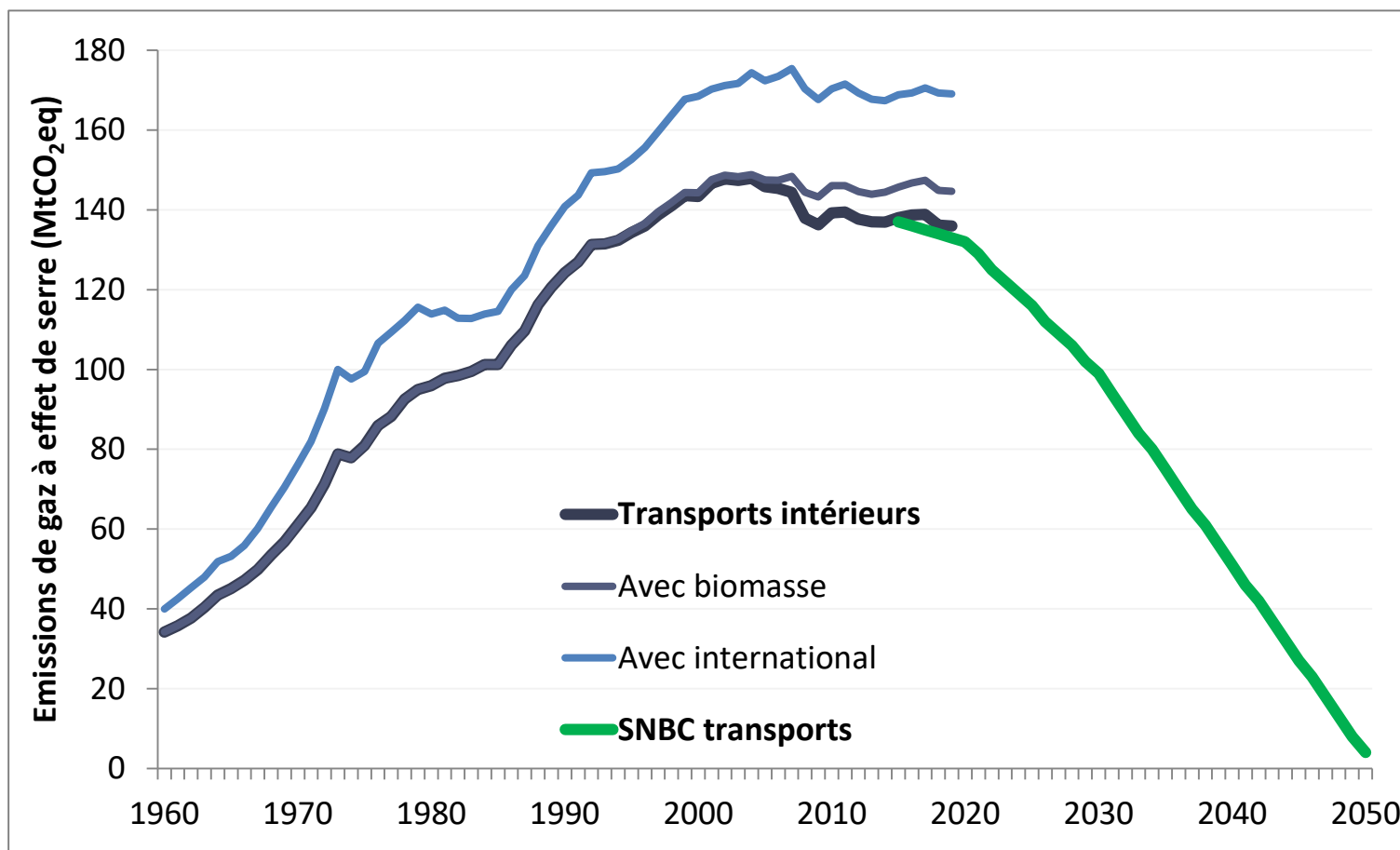
Comment infléchir les trajectoires d'émissions ?

Du Facteur 4 à la neutralité carbone



Comparaison des objectifs et trajectoires de Facteur 4 et neutralité carbone

Objectif de neutralité carbone à 2050

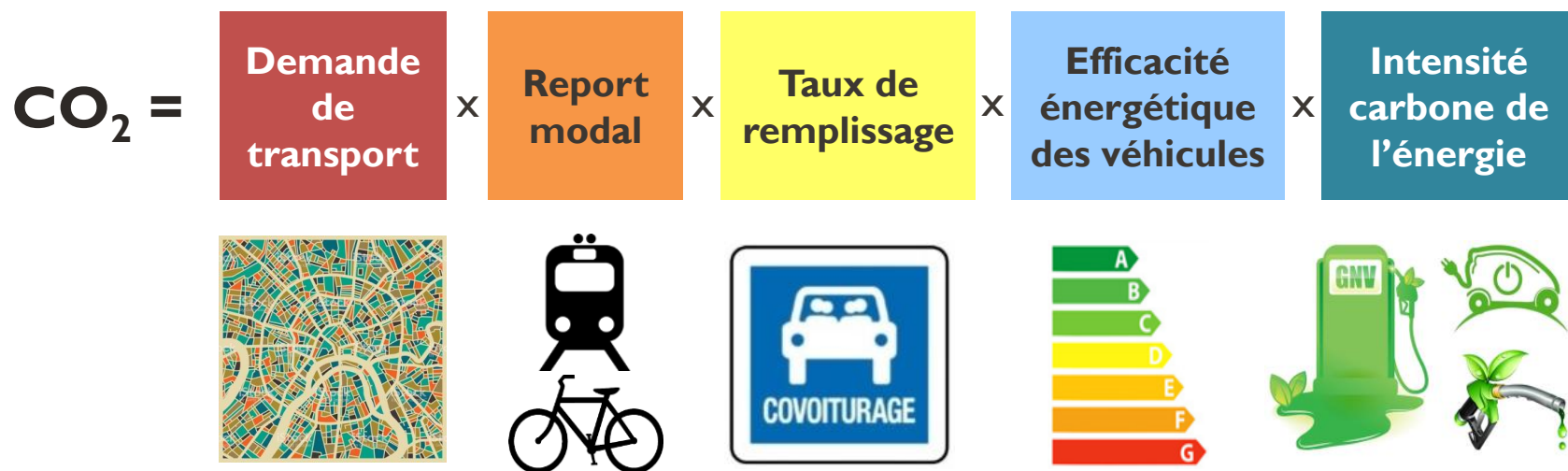


Emissions des transports depuis 1960, et objectif de décarbonation des transports d'ici 2050

Objectif et plan de thèse

Problématique

- Comment aligner le secteur des transports sur l'objectif de neutralité carbone en France à l'horizon 2050 ?



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

$$CO_2 \equiv \sum_i D \cdot \frac{D_i}{D} \cdot \frac{C_i}{D_i} \cdot \frac{E_i}{C_i} \cdot \frac{CO_{2,i}}{E_i}$$

D, D_i : demande de transport totale, par mode i (voy.km ou t.km)

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

E_i : consommation énergétique du mode i (Mtep)

$CO_{2,i}$: émissions de CO_2 du mode i (Mt CO_2)

Objectif et plan de thèse

Problématique

- Comment aligner le secteur des transports sur l'objectif de neutralité carbone en France à l'horizon 2050 ?

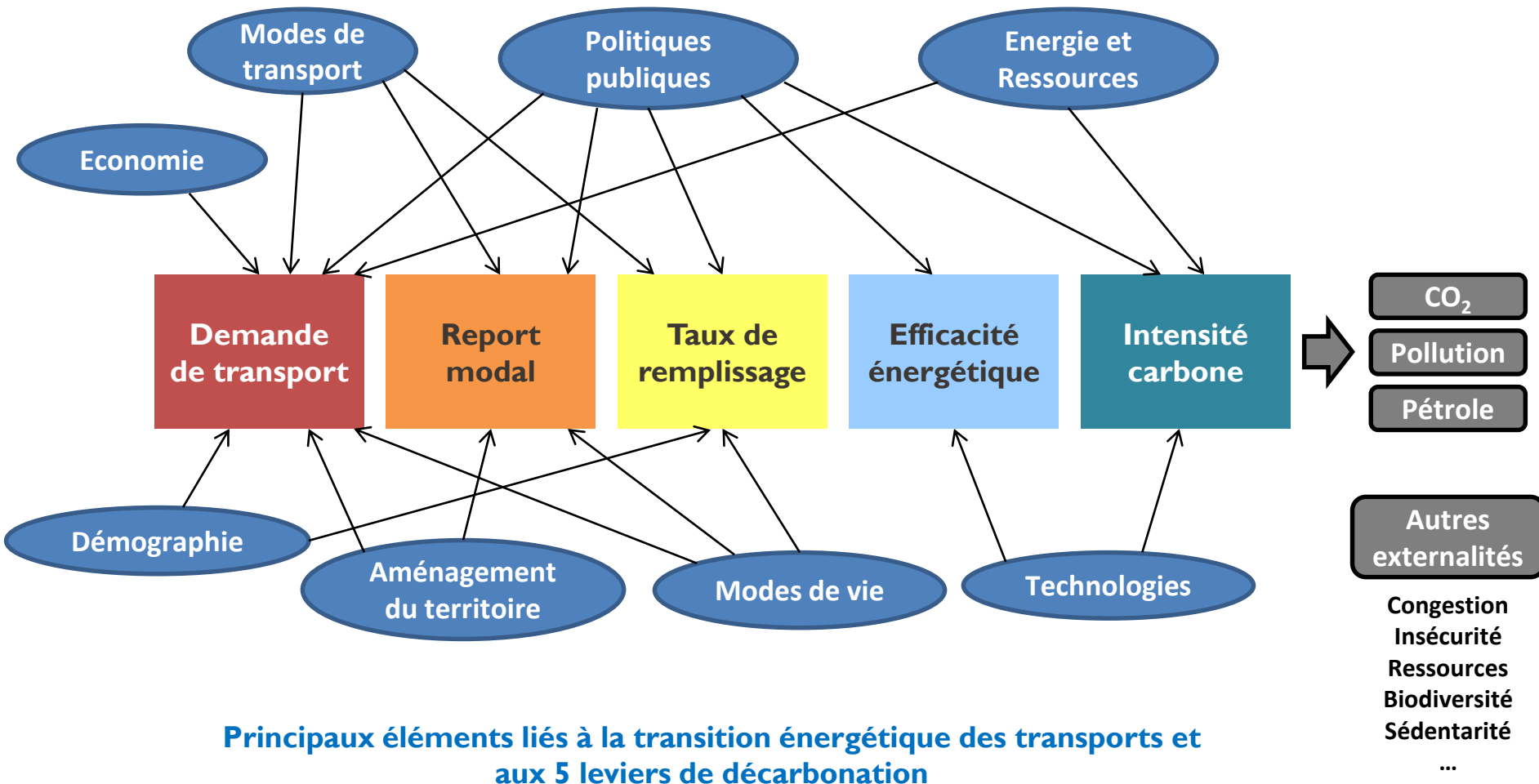
$$\text{CO}_2 = \text{Demande de transport} \times \text{Report modal} \times \text{Taux de remplissage} \times \text{Efficacité énergétique des véhicules} \times \text{Intensité carbone de l'énergie}$$

Un plan en 4 chapitres

	Temporel		Moyens		Vitesse	
	Passé	Avenir	Technologie	Sobriété	Accélération	Ralentissement
Chapitre 1	Vert foncé		Vert clair	Vert clair		
Chapitre 2		Vert foncé	Vert clair	Vert clair		
Chapitre 3	Vert clair	Vert clair			Vert foncé	Vert foncé
Chapitre 4		Vert clair	Vert foncé	Vert foncé		

Sujets principaux (vert foncé) et secondaires (vert clair) traités dans les 4 chapitres de la thèse

Une vision globale pour un système complexe



Principaux éléments liés à la transition énergétique des transports et aux 5 leviers de décarbonation

Périmètre des analyses

Application à 5 modes voyageurs et 4 marchandises

Marche	Vélo	Ferroviaire	Bus & cars	2RM	Voiture	60% VUL	Avion
		Ferroviaire	Fluvial	Poids-lourds	40% VUL		

	Chapitre 1 Passé	Chapitre 2 Futur	Chapitre 3 Vitesse	Chapitre 4 Moyens
Temporel	1960-2017	Horizon 2050	1960-2017 1800-2050	2020-2050
Géographique (aérien international ?)	Intérieur (aussi total)	Métropole	Total (aussi intérieur)	Total
Transports	Voyageurs Marchandises	Voyageurs Marchandises	Voyageurs	Voyageurs Marchandises
Emissions	Directes	Directes		ACV (analyse de cycle de vie)
Données	Demande, Trafics, Energie, CO ₂	Demande, Trafics, Energie, CO ₂	Demande, Vitesse	Qualitatif ou études extérieures

Périmètre temporel, géographique, des transports, des émissions et données pris en compte



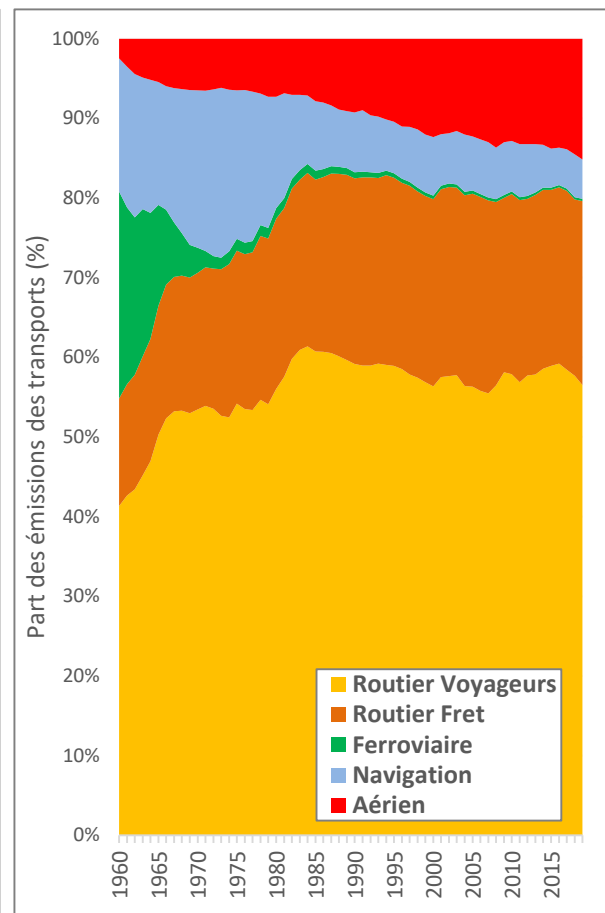
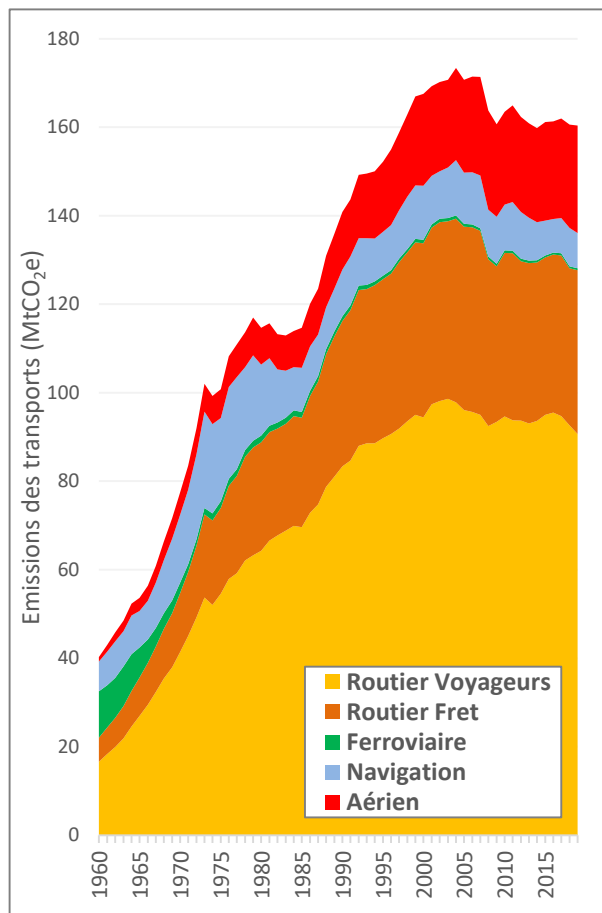
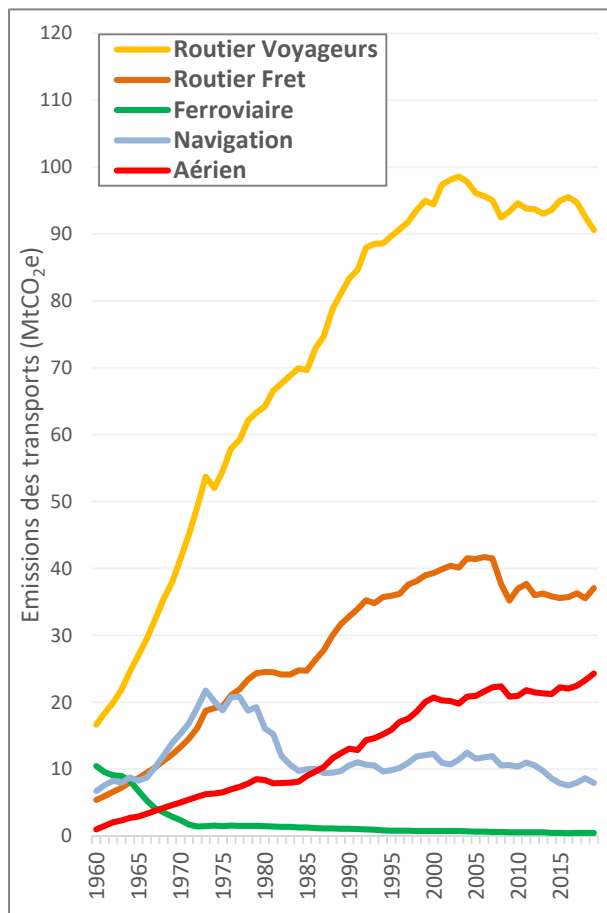
Des questions ?

Fin de la partie d'introduction

Comment expliquer l'évolution des émissions depuis 1960 ?

Décomposition sur la période 1960-2017

Emissions des transports 1960-2019

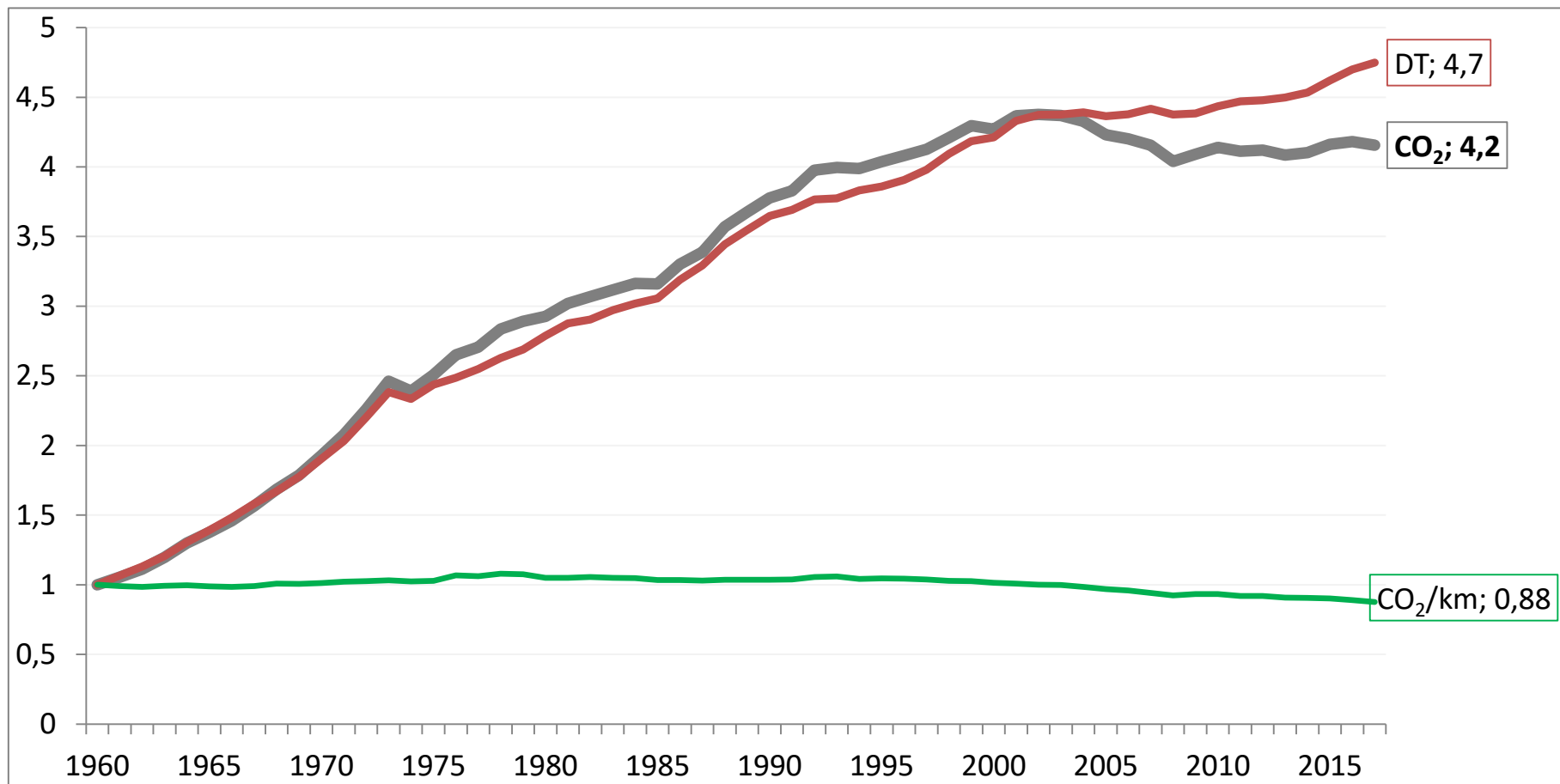


Emissions de gaz à effet de serre (GES) des transports en France par mode, de 1960 à 2019

Tous GES ; transports internationaux inclus ; données CITEPA

Voyageurs 1960-2017

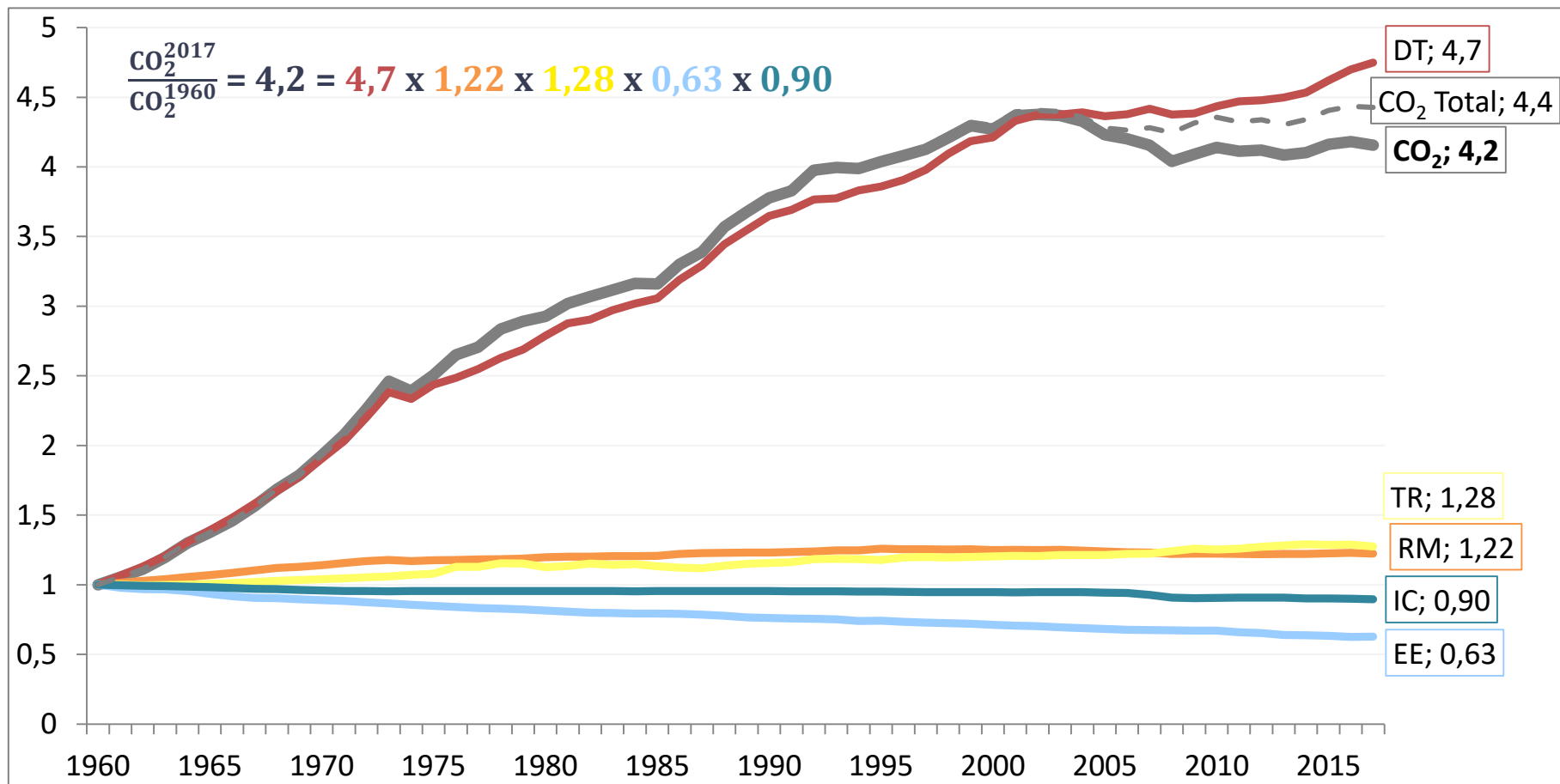
$$\text{CO}_2 = \text{Demande de transport} \times \text{Report modal} \times \text{Taux de remplissage} \times \text{Efficacité énergétique des véhicules} \times \text{Intensité carbone de l'énergie}$$



Variation des émissions de CO₂ du transport intérieur de voyageurs de 1960 à 2017
(forme multiplicative, pas de 1 an)

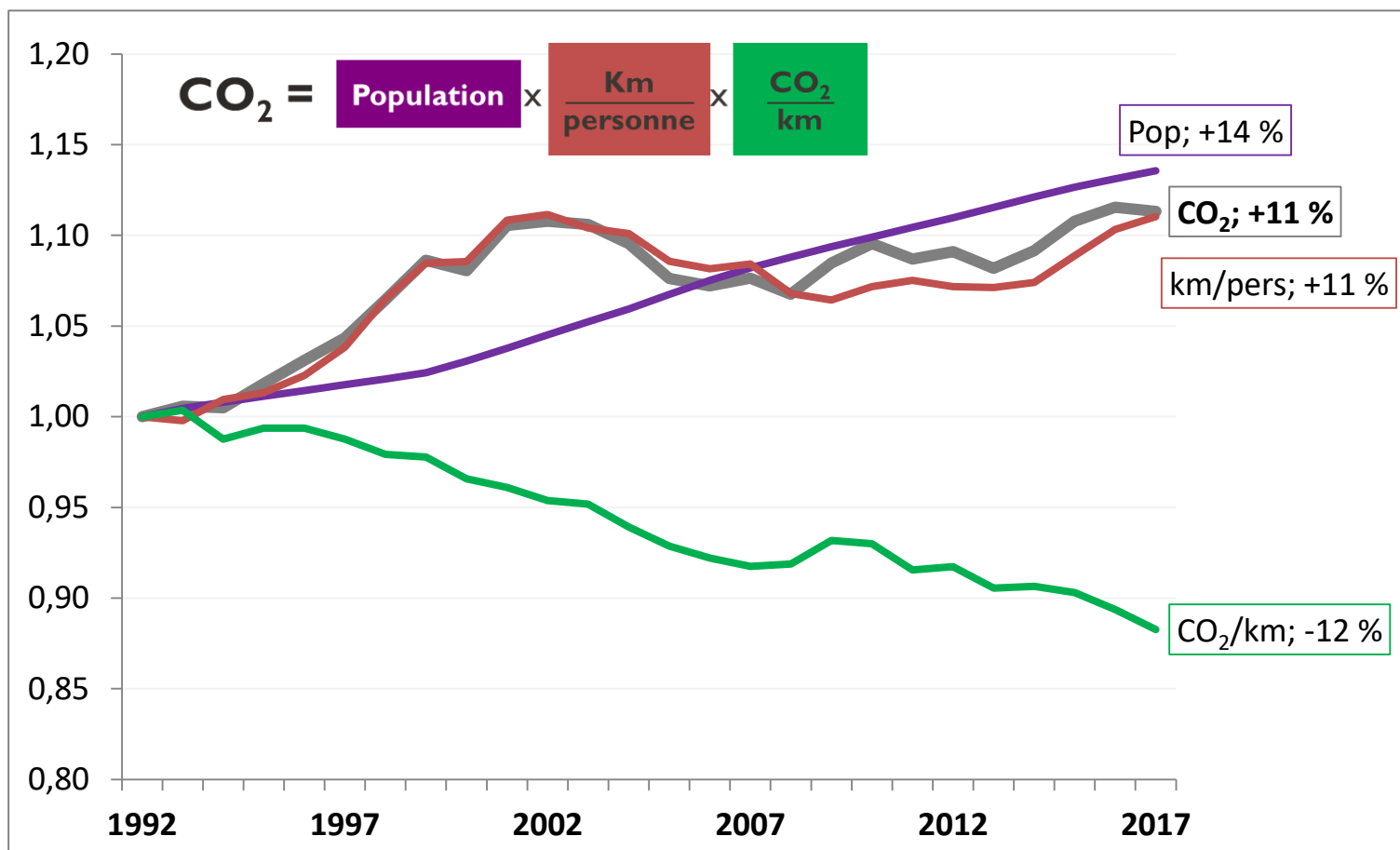
Voyageurs 1960-2017

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



Variation des émissions de CO₂ du transport intérieur de voyageurs de 1960 à 2017
(forme multiplicative, pas de 1 an)

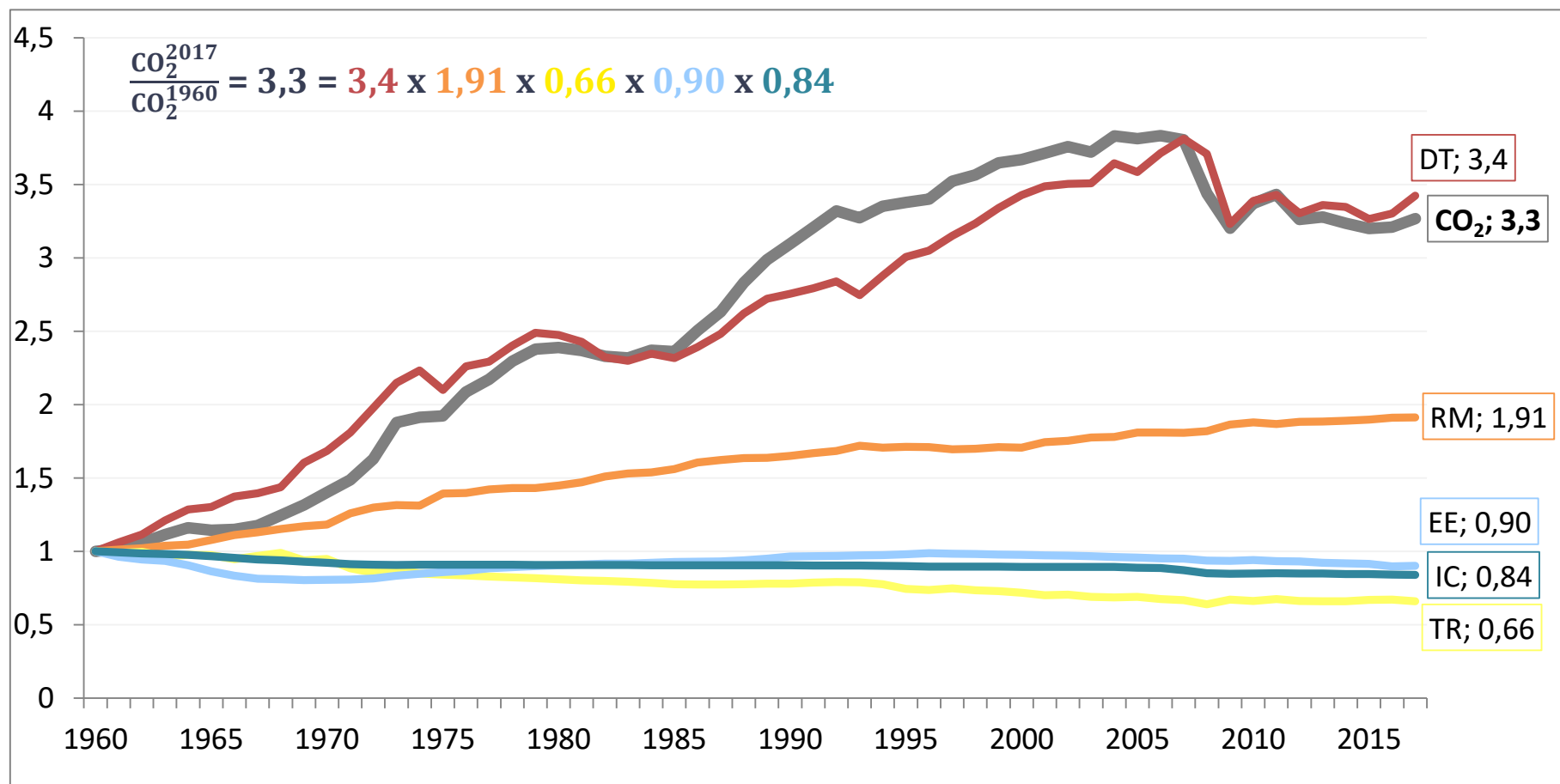
Le faible verdissement de la mobilité...



Variation des émissions de CO₂ du transport intérieur de voyageurs de 1992 à 2017
(CO₂ biomasse inclus)

Marchandises 1960-2017

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

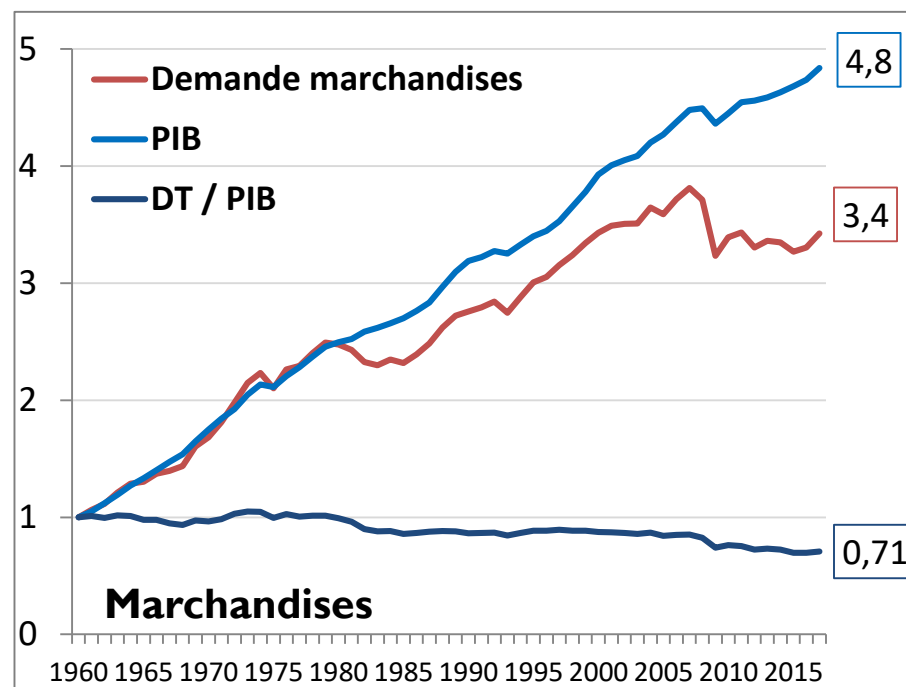
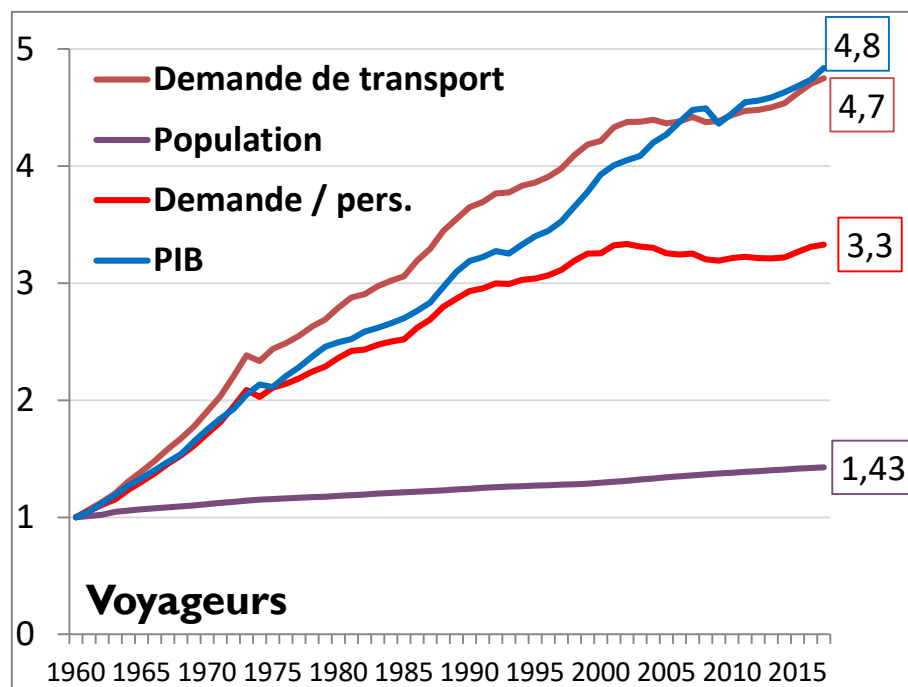


Variation des émissions de CO₂ du transport intérieur de marchandises de 1960 à 2017 (forme multiplicative, pas de 1 an)

I) L'impact majeur de la demande de transport

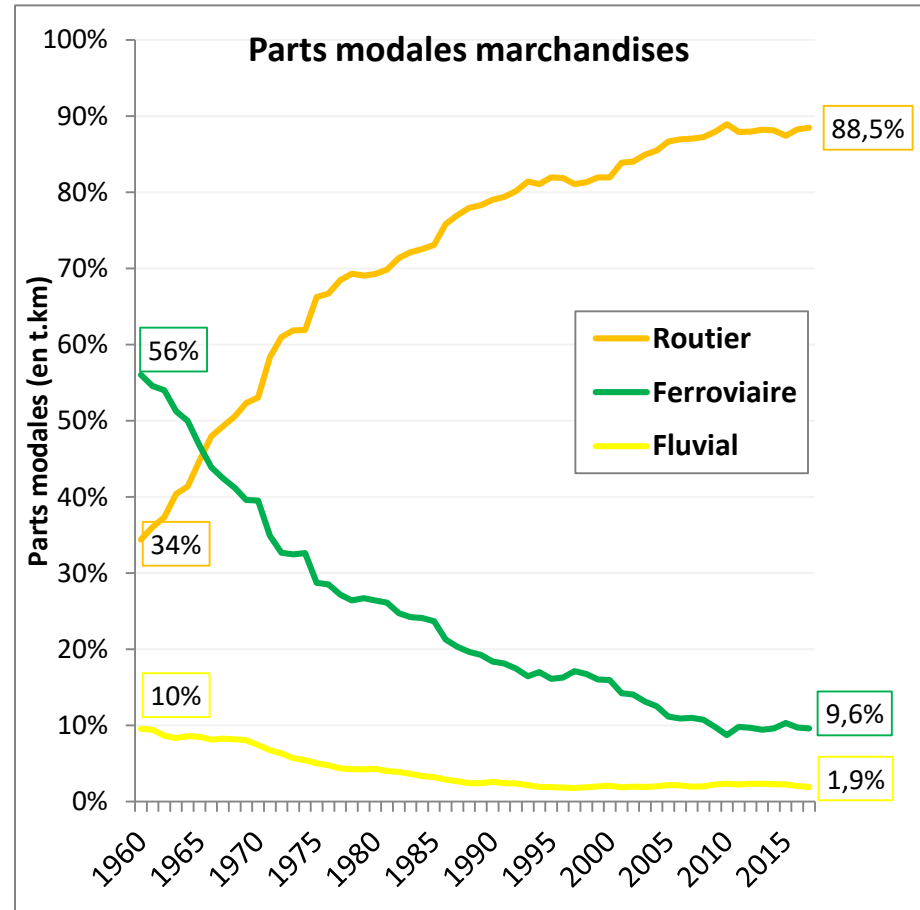
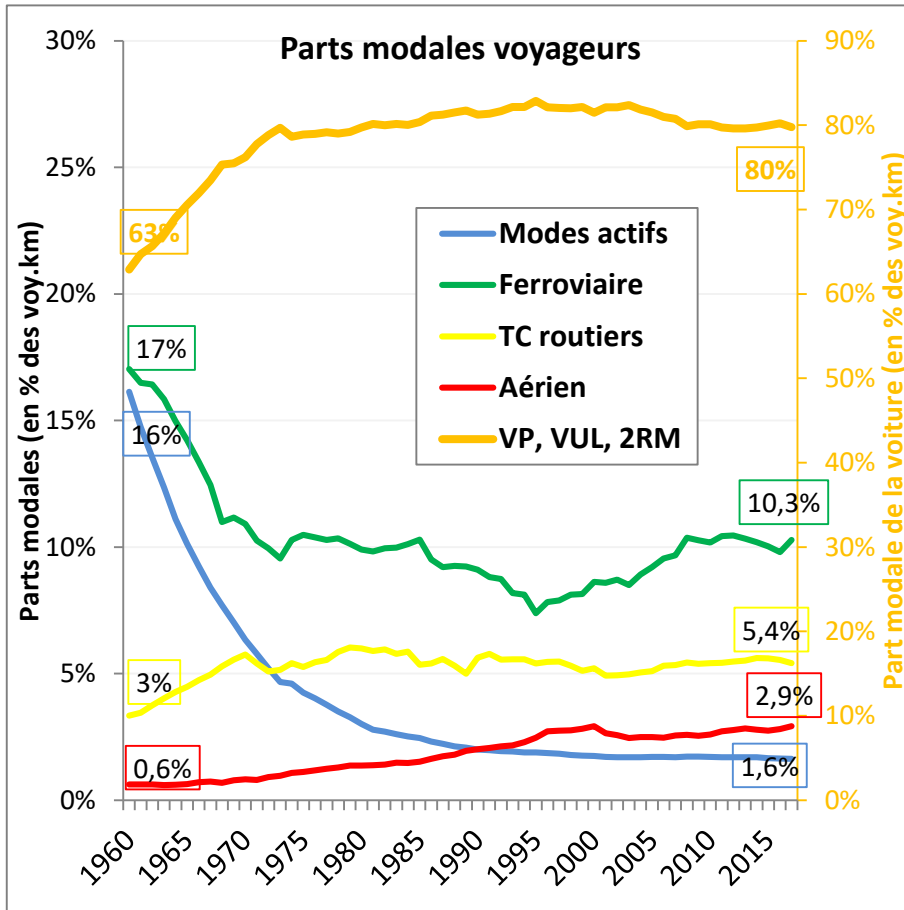
Principaux facteurs influençant la demande

- Variables socio-économiques : PIB, prix du pétrole, population
- Autres : taux de motorisation, vitesse moyenne, étalement urbain



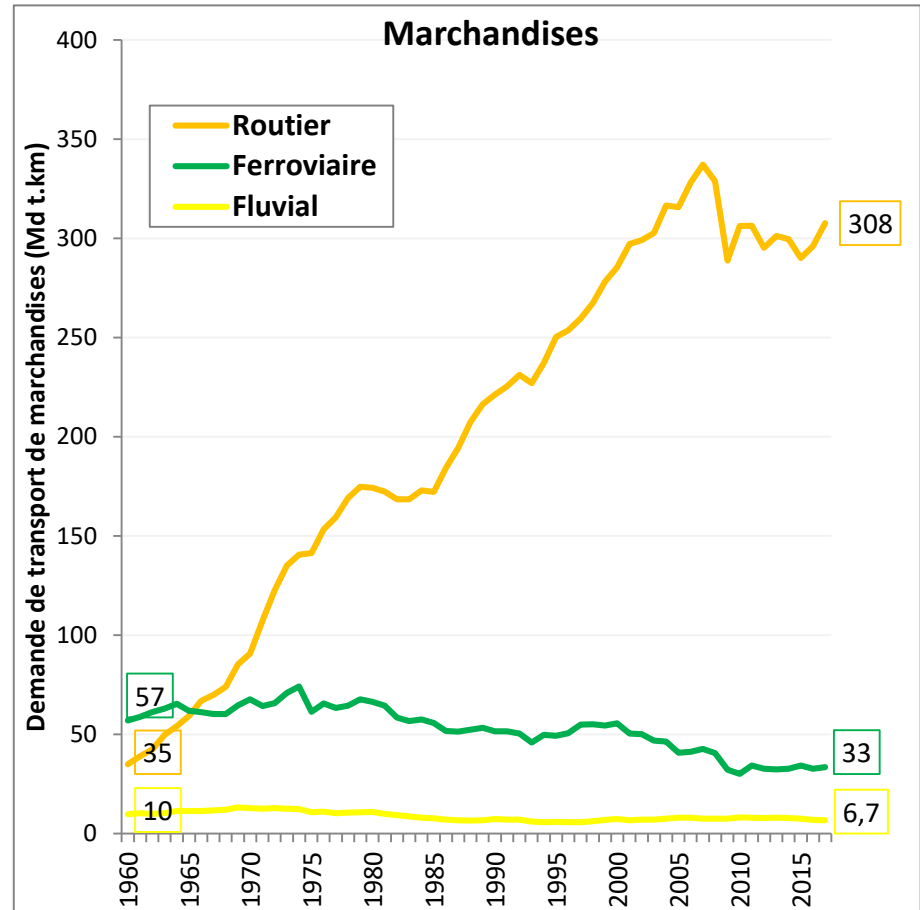
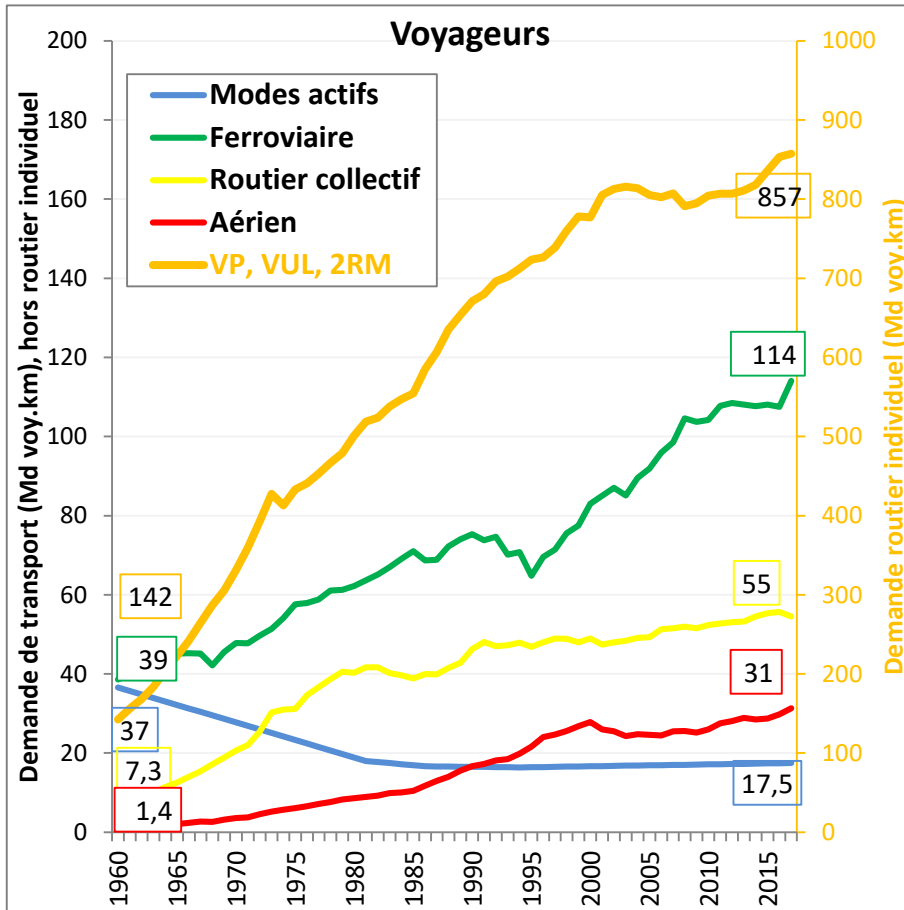
L'évolution de la demande de transport pour les voyageurs (en voy.km, à gauche)
et les marchandises (en t.km, à droite)

2) Report modal surtout vers la route



Parts modales du transport de voyageurs (axe de droite pour routier individuel) et de marchandises

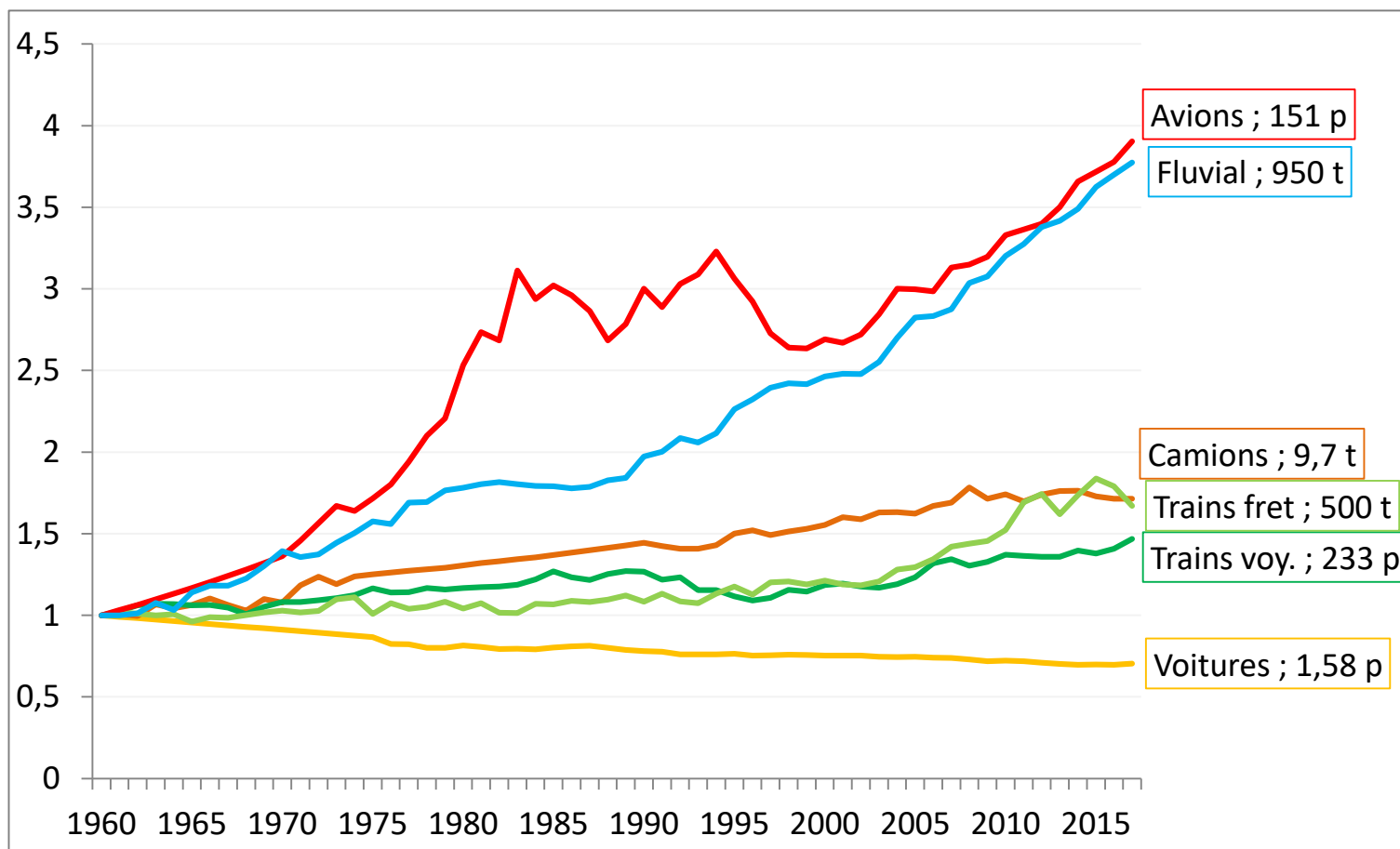
2) Les modes en (dé)croissance



Demande de transport de voyageurs (axe de droite pour routier individuel) et de marchandises

3) Hausse du remplissage, sauf pour les voitures

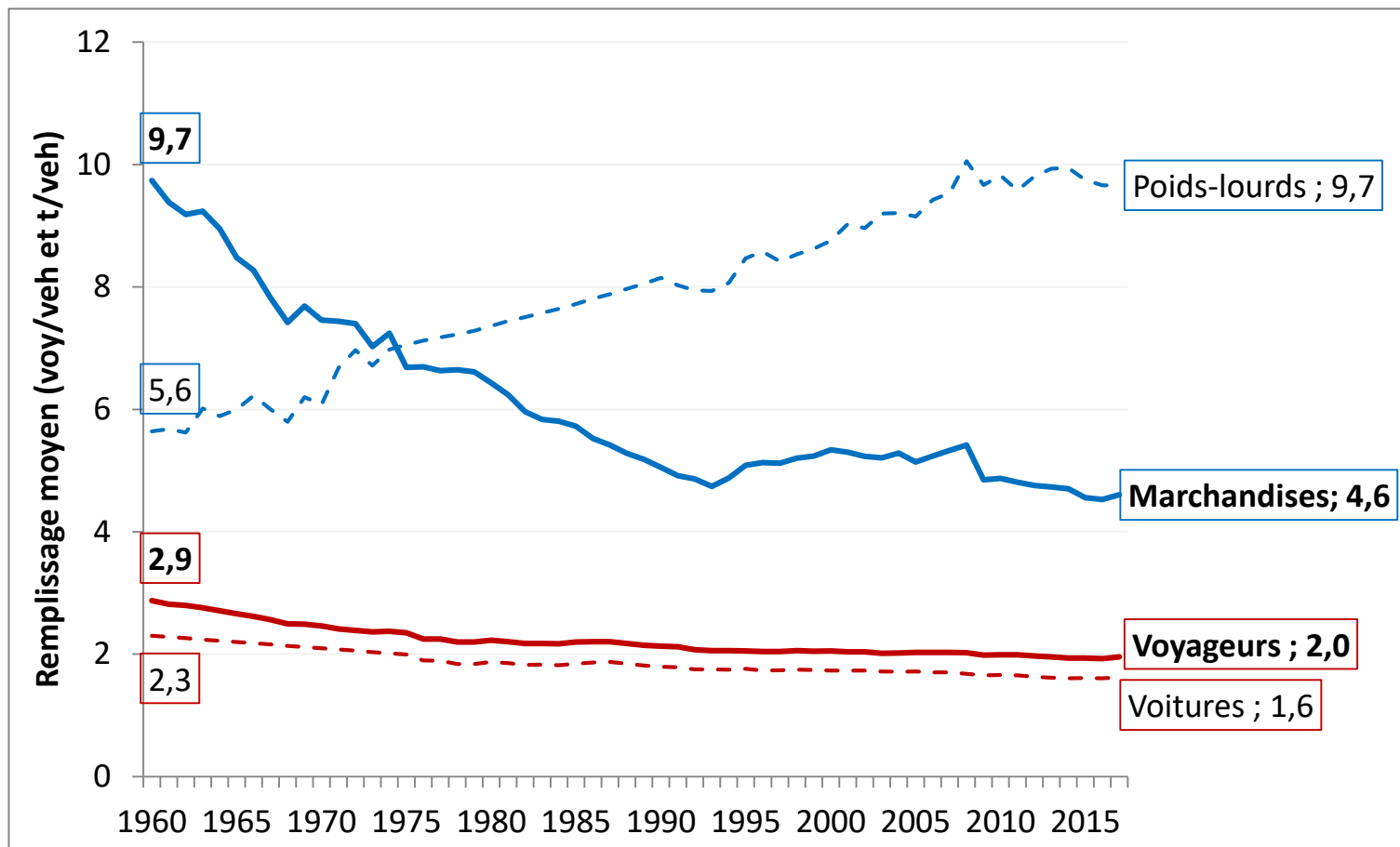
Taux de remplissage



Evolution du remplissage de différents modes de transport, par rapport à 1960
(valeur à droite en 2017 ; p=passagers, t=tonnes)

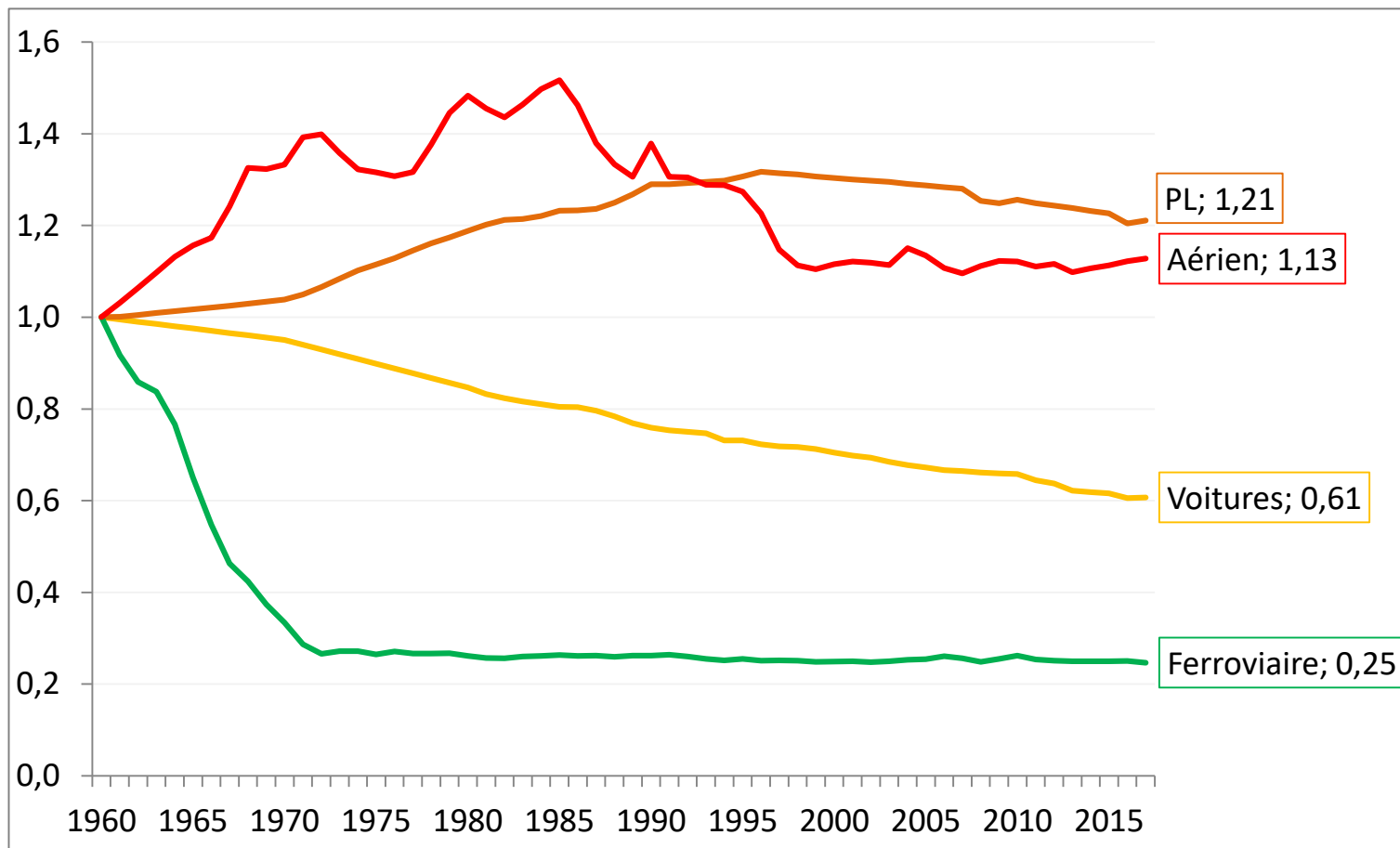
3) Au global, une tendance à la démassification

Taux de remplissage



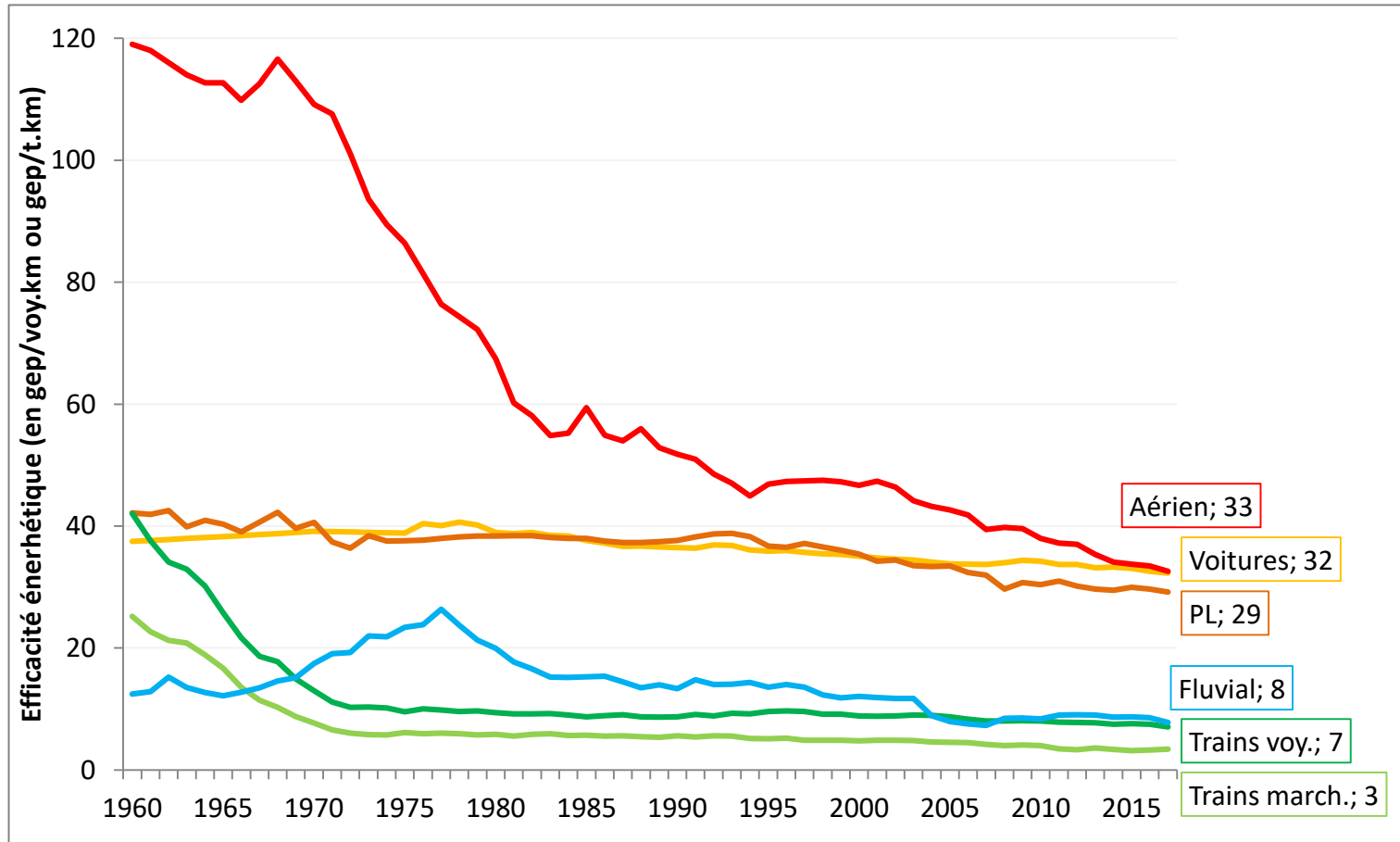
Remplissage moyen de l'ensemble des transports de voyageurs terrestres et de marchandises
(moyenne voyageurs = routier + ferroviaire, hors avion et modes actifs ; moyenne marchandises = tous modes)

4) Amélioration de l'efficacité énergétique



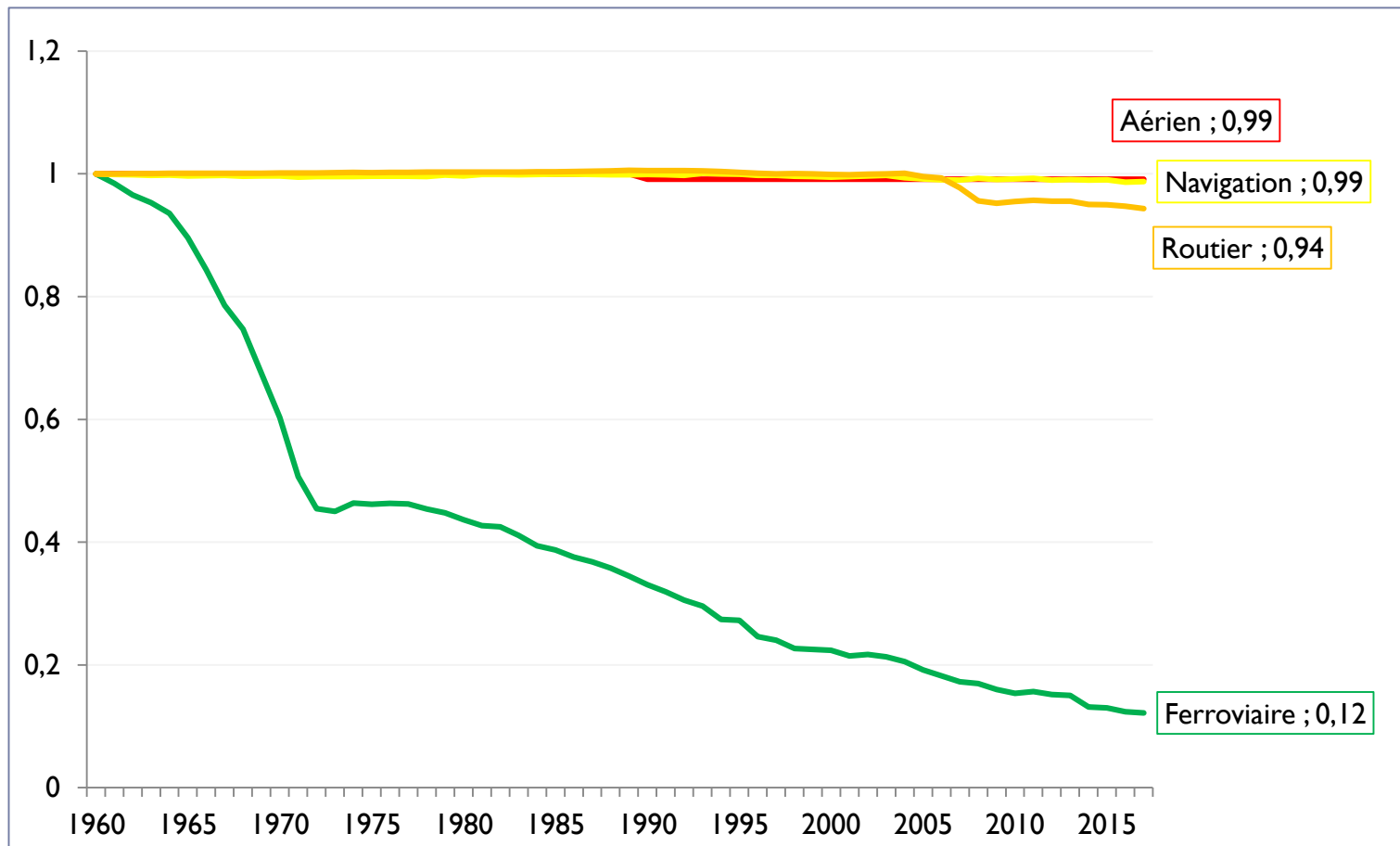
Evolution de l'efficacité énergétique (par véhicule.km) pour différents modes (base 1 en 1960)

4) Amélioration de l'efficacité énergétique



Evolution de l'efficacité énergétique (en gep/voy.km ou gep/t.km) pour différents modes

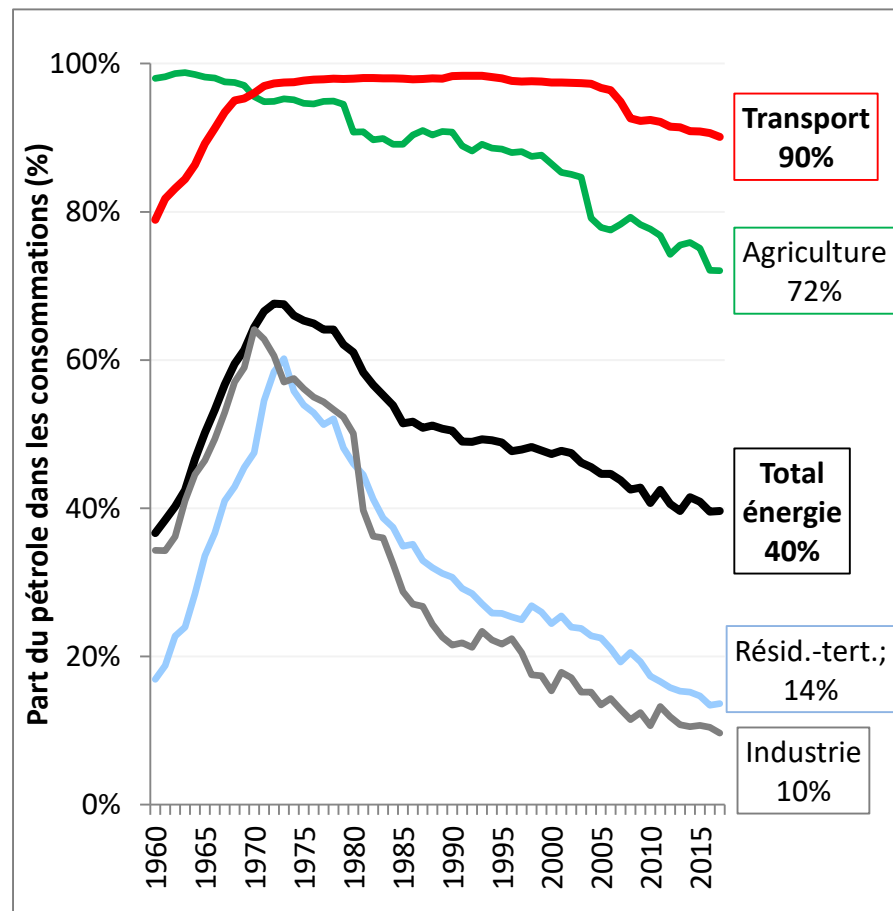
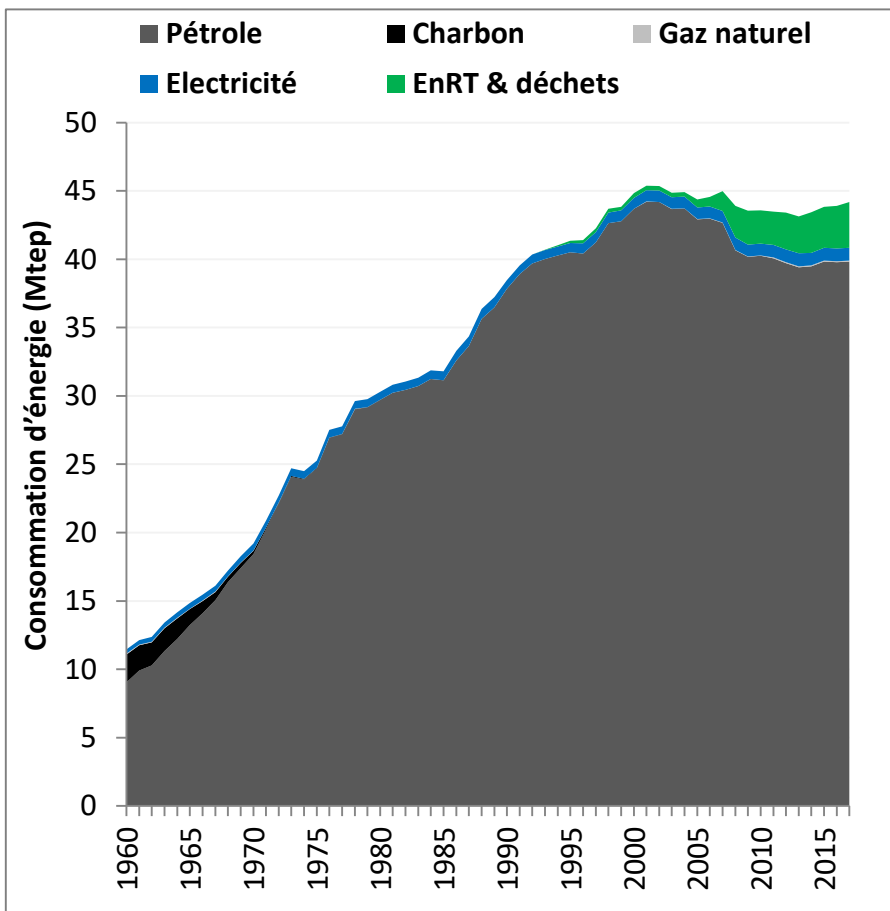
5) Une décarbonation très limitée par le passé



Evolution de l'intensité carbone pour différents modes
(base 1 en 1960)

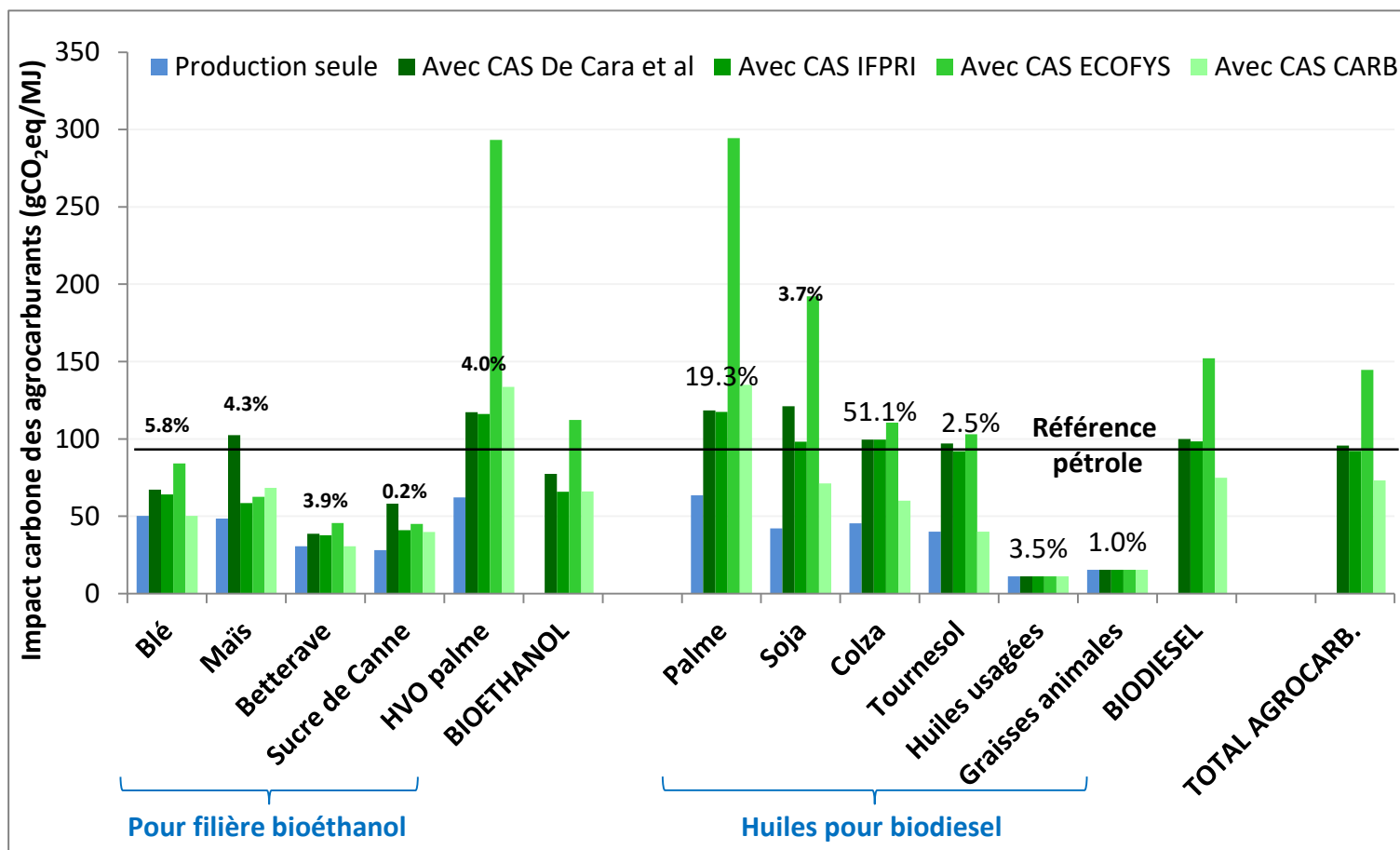
Energie nationale : dépendance au pétrole

Intensité
carbone de
l'énergie



Mix énergétique des transports (à gauche) et part des produits pétroliers dans la consommation finale d'énergie par secteur (à droite), en France de 1960 à 2017

5) Une décarbonation très limitée par le passé



Proportion des différentes matières premières (en % d'énergie) des agrocarburants consommés en France en 2017, et leur impact carbone, compris leur production + changement d'affectation des terres (CAS)



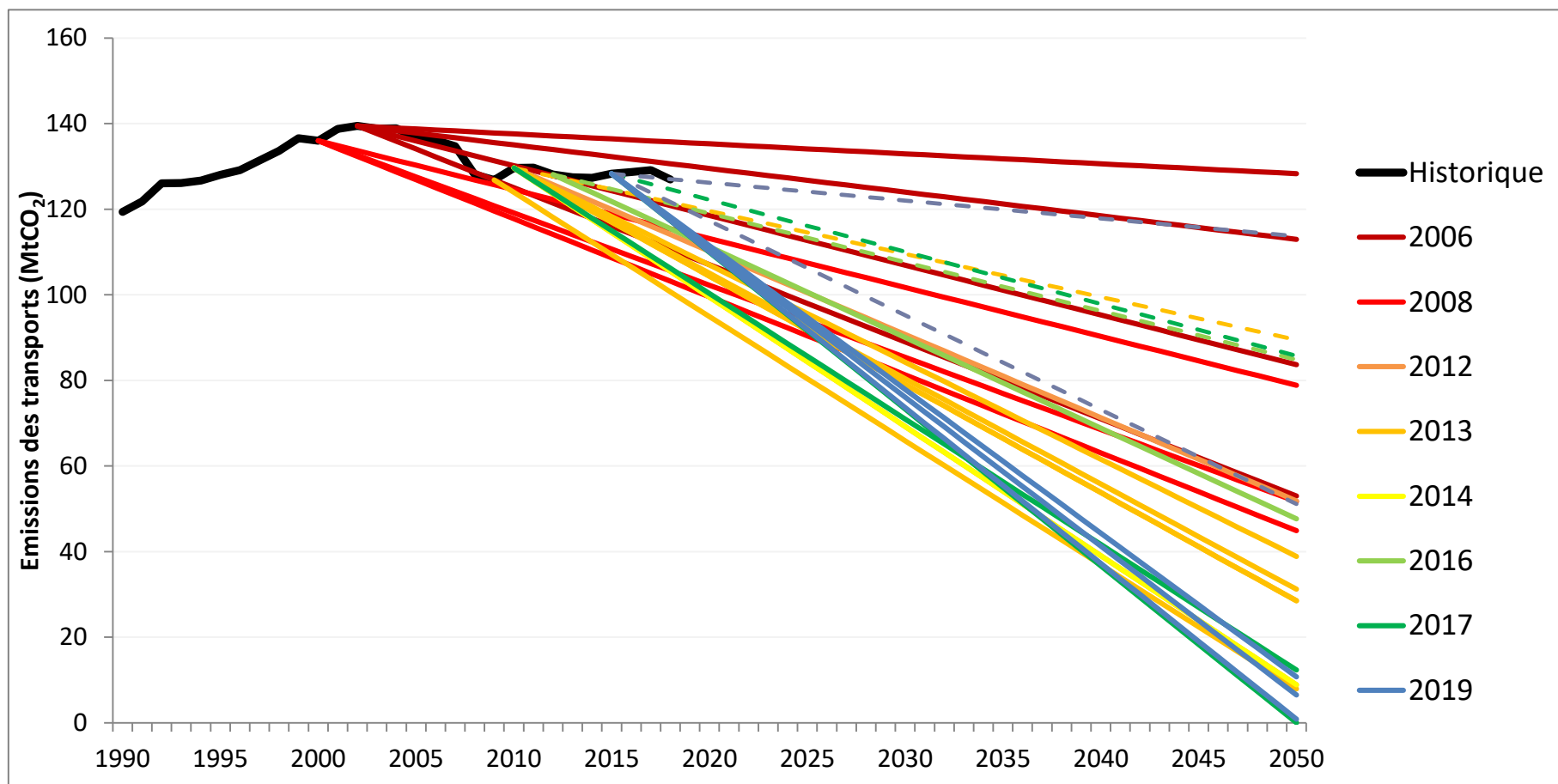
Des questions ?

Fin de la partie 1 sur les émissions passées

Comment s'aligner sur la trajectoire de neutralité carbone ?

Comparaison des scénarios français et potentiels des 5 leviers d'ici 2050

Evolution de l'ambition des scénarios



Evolution du pourcentage de baisse des émissions entre l'année de référence et 2050 pour les scénarios de prospectives français sur les transports (tendanciels en pointillés)



13 scénarios voyageurs et 10 marchandises

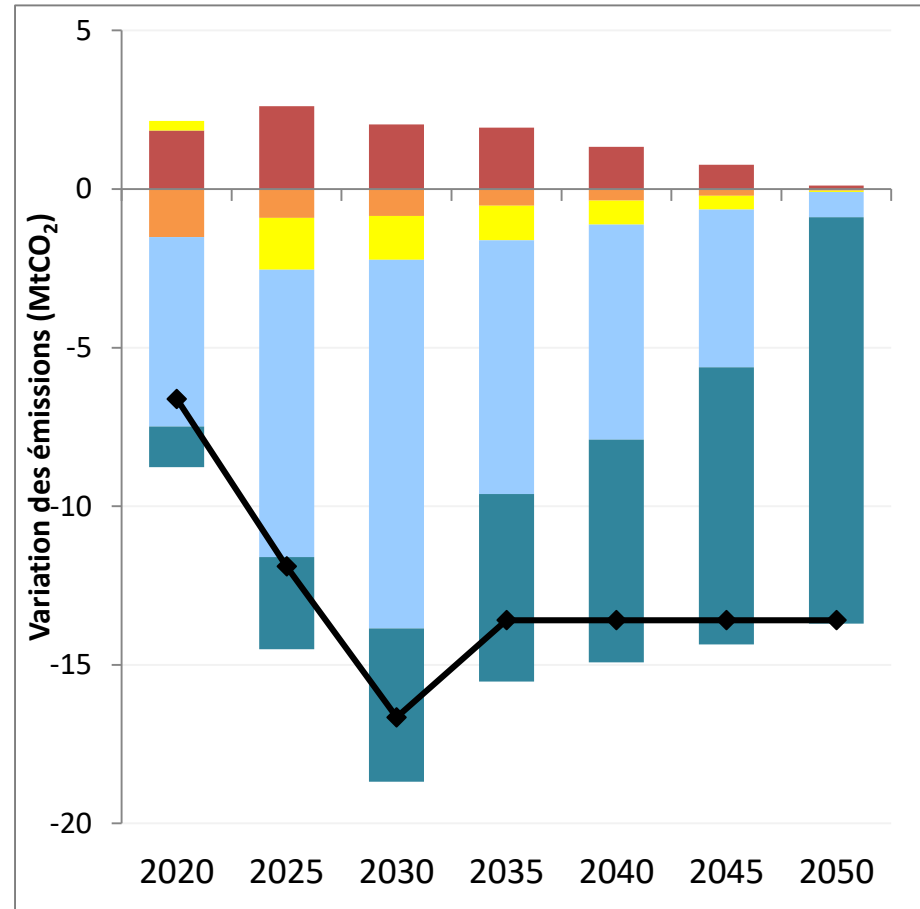
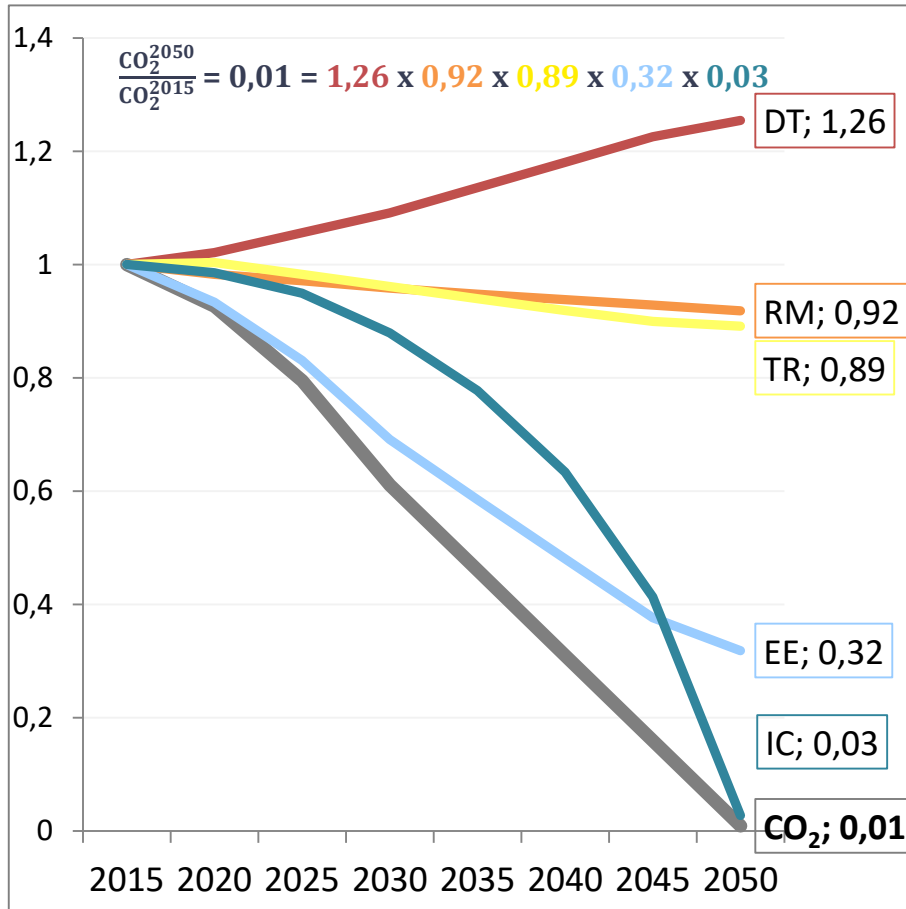
> 0 %
0 à -50%
-50 à -70 %
-70 à -90 %
-90 à -100%

Institut		Scénario		Périmètre		% CO ₂	
Nom	Type	Année	Nom	Secteur	Année réf.	Voyageurs	Marchandises
MTES	Ministère transition écologique et solidaire	2019	<i>AME</i>	Tous GES	2015	-26%	29%
			AMS / SNBC		2015	-99%	-100%
EpE	Entreprises pour l'Environnement	2019	ZEN 2050	Tous GES	2015	-96%	-92%
négaWatt	ONG française	2017	<i>Tend.</i>	Tous GES	2015	-38%	-19%
			négaWatt		2015	-100%	-100%
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie	2017	ADEME Vision	Tous GES	2010	-91%	-88%
IEA	Agence internationale de l'énergie	2019	<i>NPS</i>	Transport	2015	-63%	-53%
			EV30		2015	-96%	-81%
IDDRI	Institut du développement durable et des relations internationales	2019	S1	Marchandises	2015		-99%
			S2		2015		-98%
IDDRI	Institut du développement durable et des relations internationales	2017	MOB-First	Voyageurs	2010	-83%	
			TECH-First		2010	-87%	
SNCF	Société nationale des chemins de fer	2015	<i>Ultramobilité</i>	Voyageurs	2013	-47%	
			Altermobilité		2013	-64%	
			Proximobilité		2013	-70%	

Scénarios étudiés dans le cadre de la comparaison
(scénarios *tendanciel*s en italique et volontaristes pour les autres)

SNBC - Voyageurs

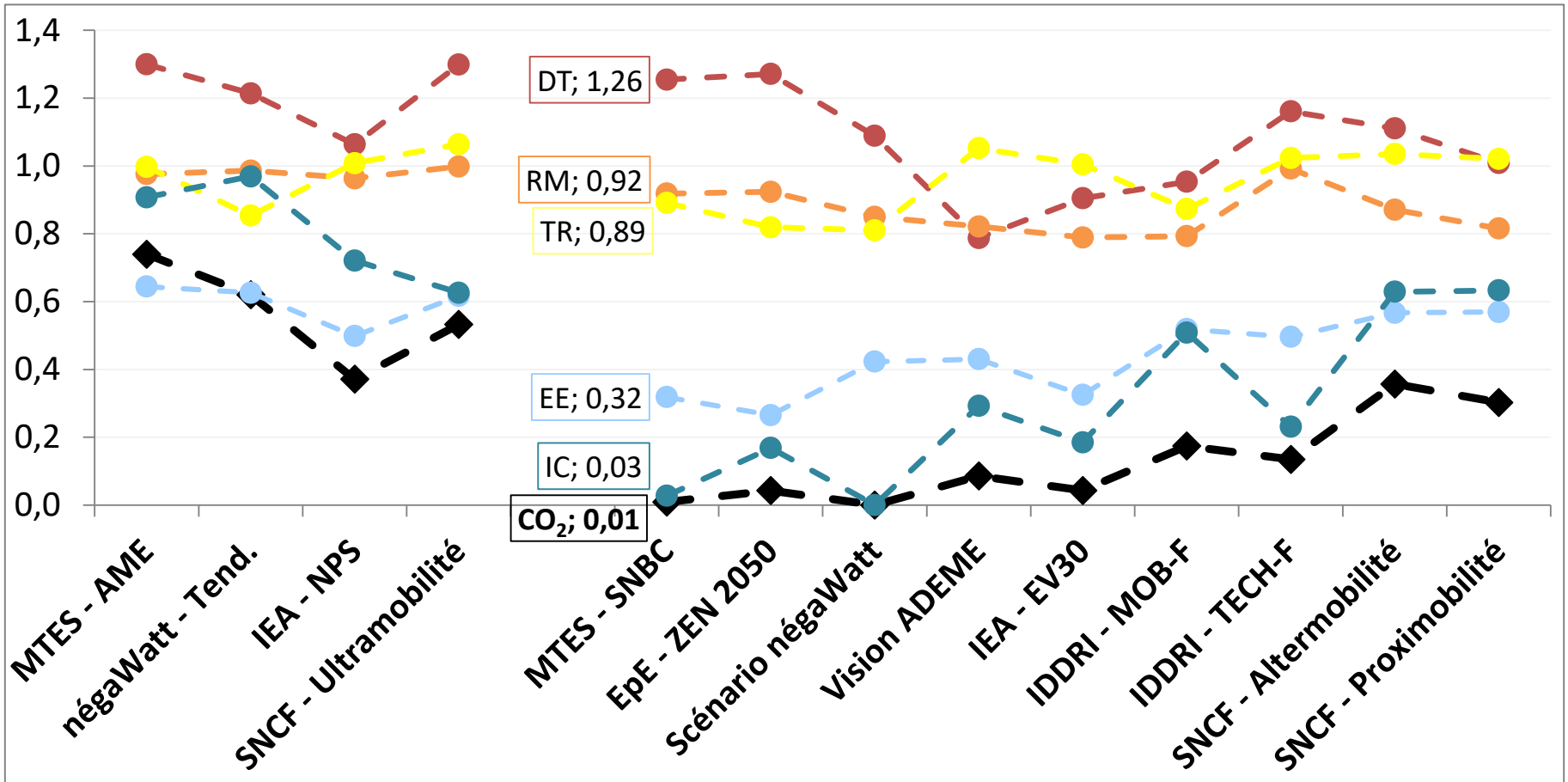
$$\text{CO}_2 = \text{Demande de transport} \times \text{Report modal} \times \text{Taux de remplissage} \times \text{Efficacité énergétique des véhicules} \times \text{Intensité carbone de l'énergie}$$



Décomposition des émissions de CO₂ des transports de passagers pour le scénario SNBC, 2015-2050
(forme multiplicative à gauche, additive à droite)

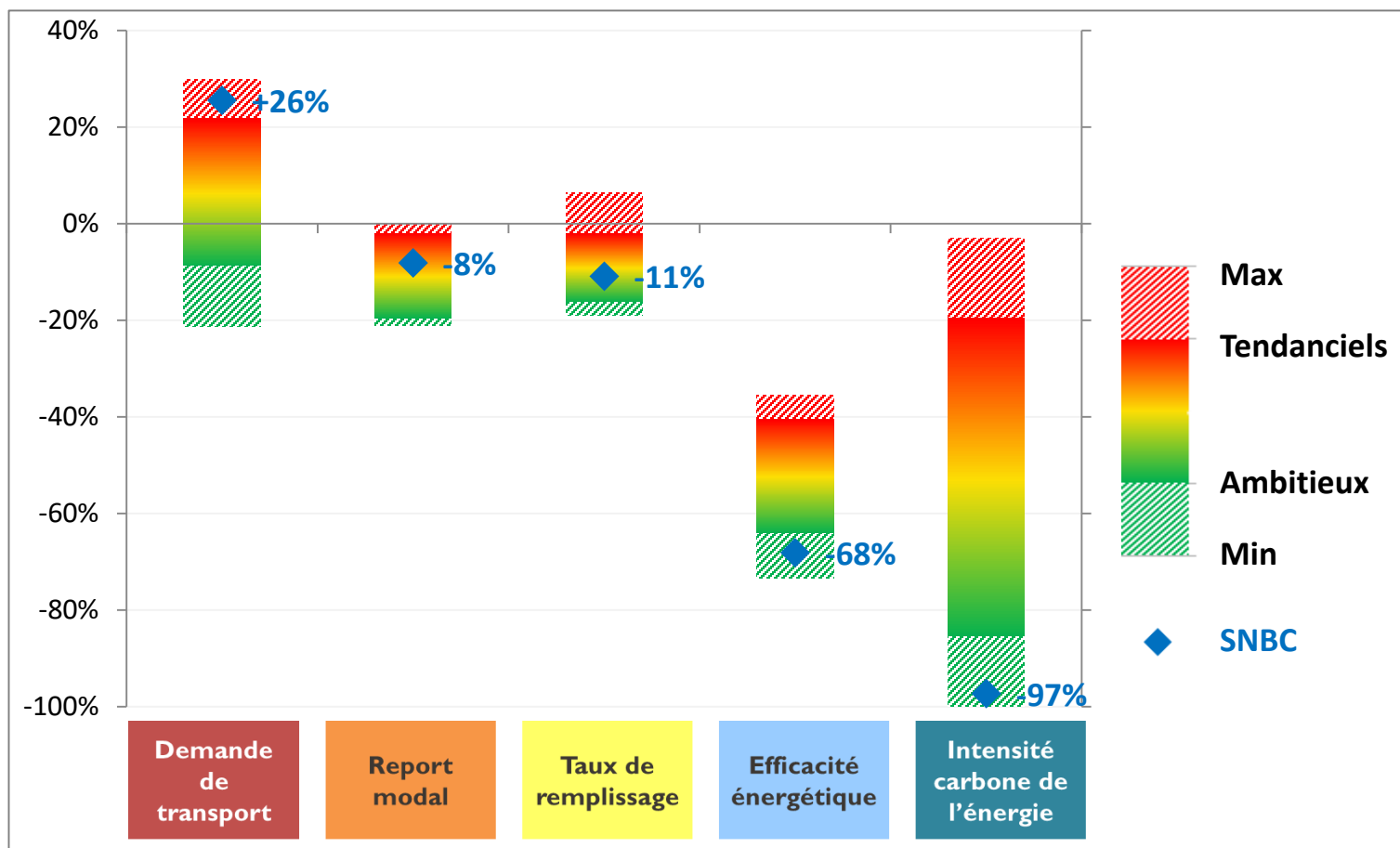
Scénarios Voyageurs

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



Décomposition des émissions de CO₂ jusqu'à 2050, pour les 13 scénarios voyageurs (forme multiplicative ; scénarios tendanciels à gauche, volontaristes à droite)

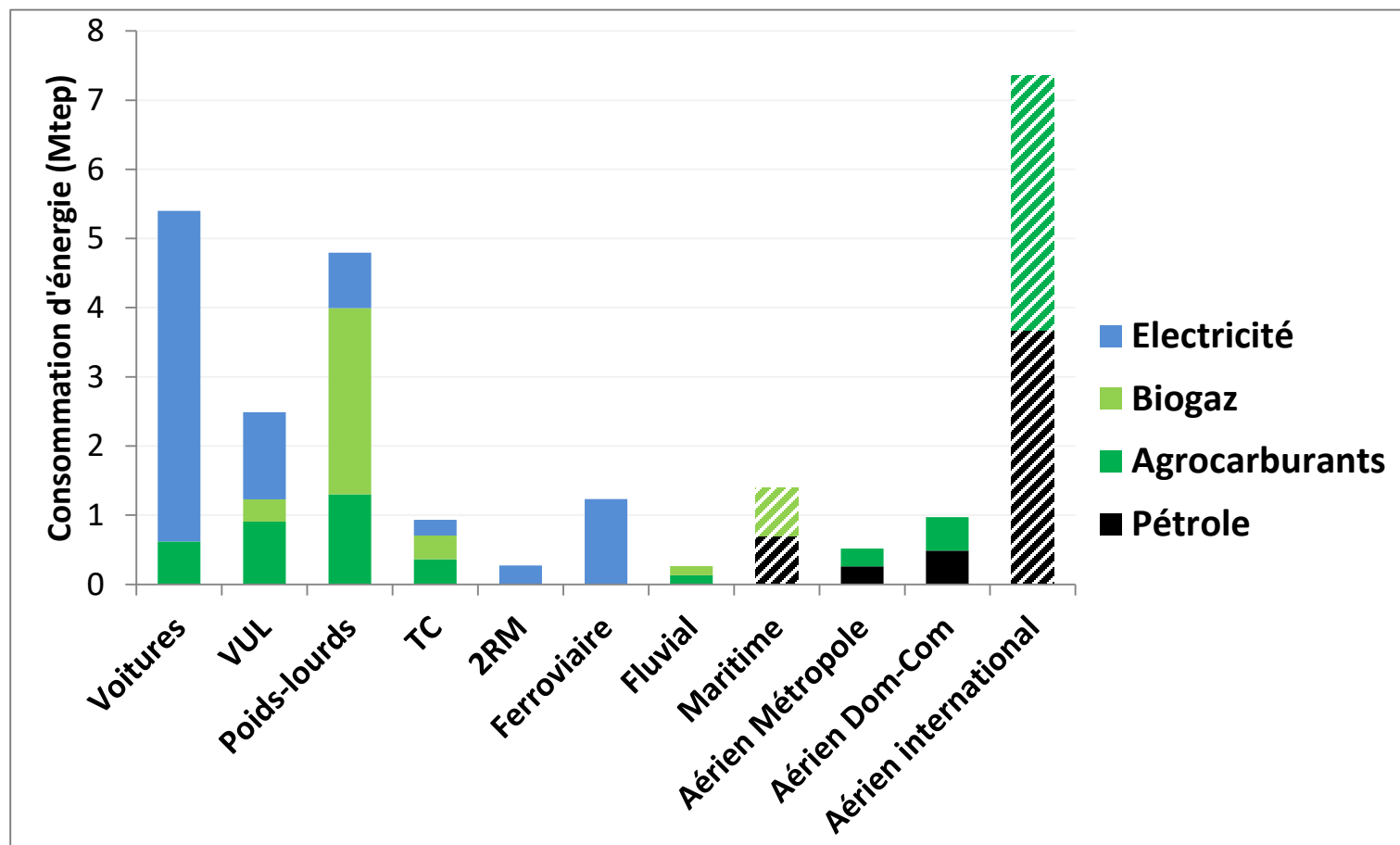
Scénarios Voyageurs : Tendanciels vs. Ambitieux



Décomposition des émissions de CO₂ des scénarios de transport de voyageurs jusqu'à 2050

(formes multiplicative et additive ; 4 scénarios tendanciels en rouge, 4 les plus ambitieux par facteur en vert, SNBC en bleu)

Le mix de motorisation 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 ; 2RM = 2-roues motorisés



Des questions ?

Fin de la partie 2 sur les trajectoires d'émissions

Sur quels leviers compter ?
Quelles politiques publiques ?

Principaux enseignements

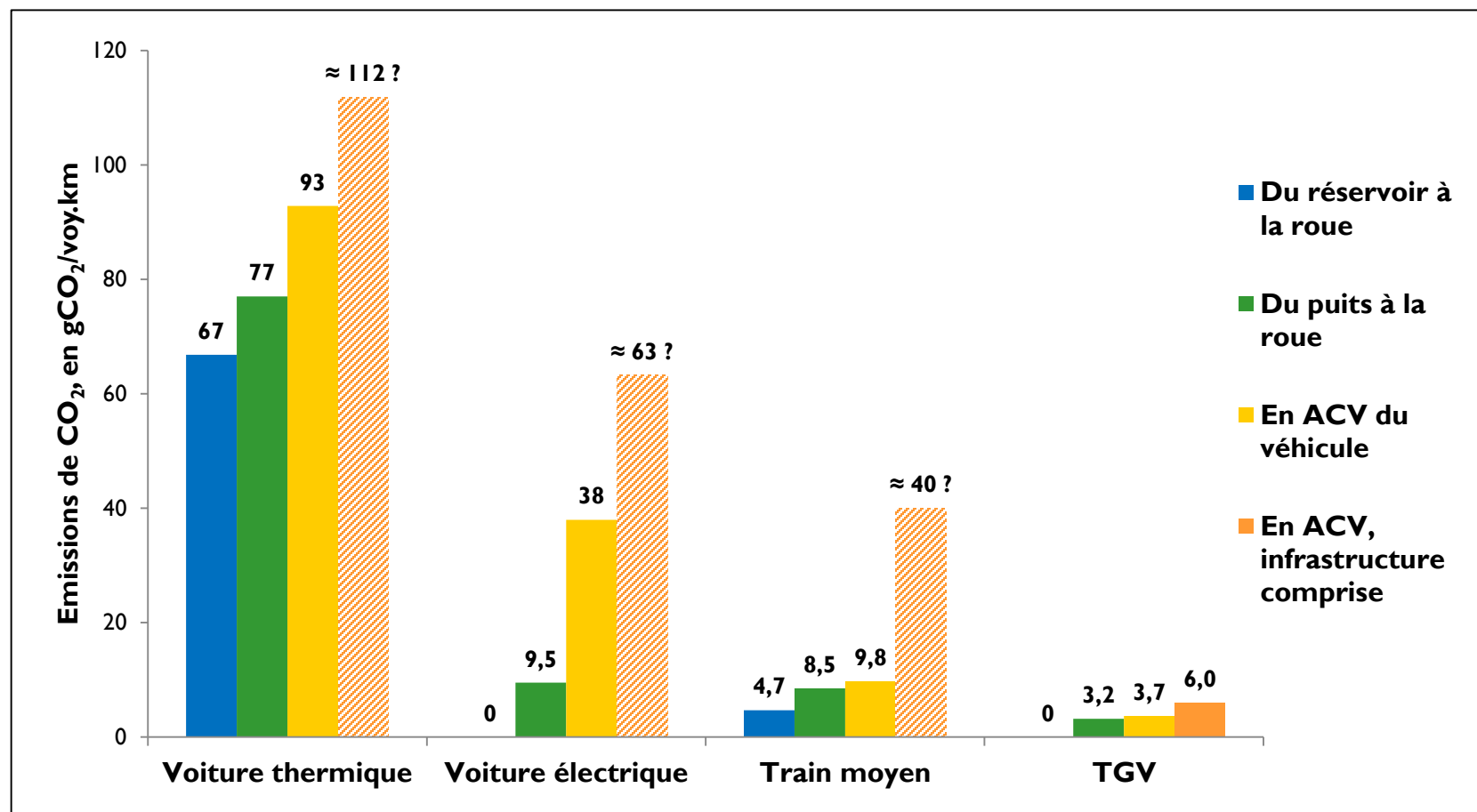
Interactions et effets rebonds entre les mesures

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

Le besoin de raisonner en analyse de cycle de vie



Emissions de CO₂ en voiture et en train selon le périmètre du bilan carbone

Principaux enseignements

1) Le lien historique fort entre vitesse, distances et CO₂

- 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 CO₂ prévu d'ici 2050

- Voyageurs : passage de -0,5 %/an de CO₂/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