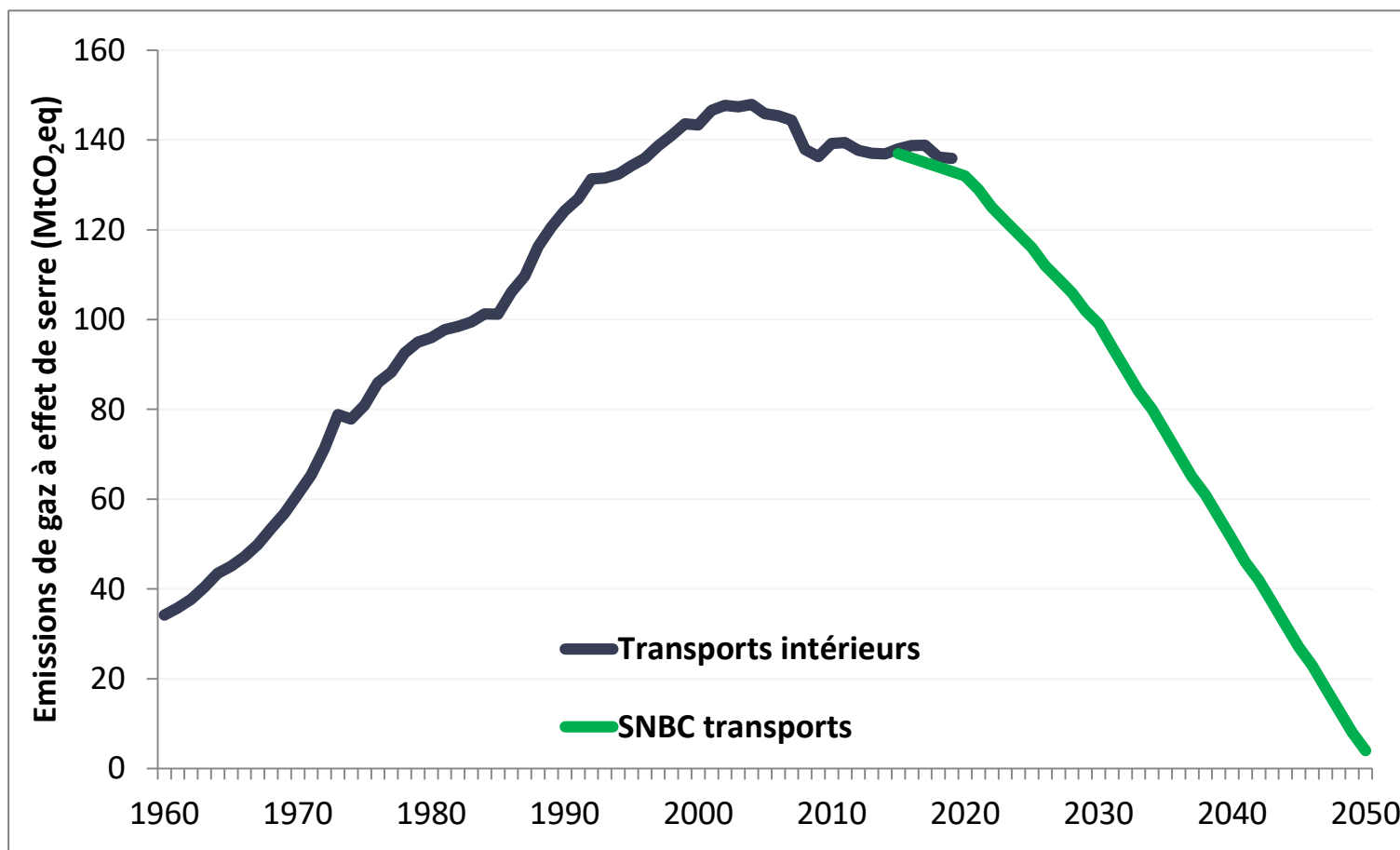


Les transports face au défi de la transition énergétique #2

Quelles transformations pour nos mobilités ?

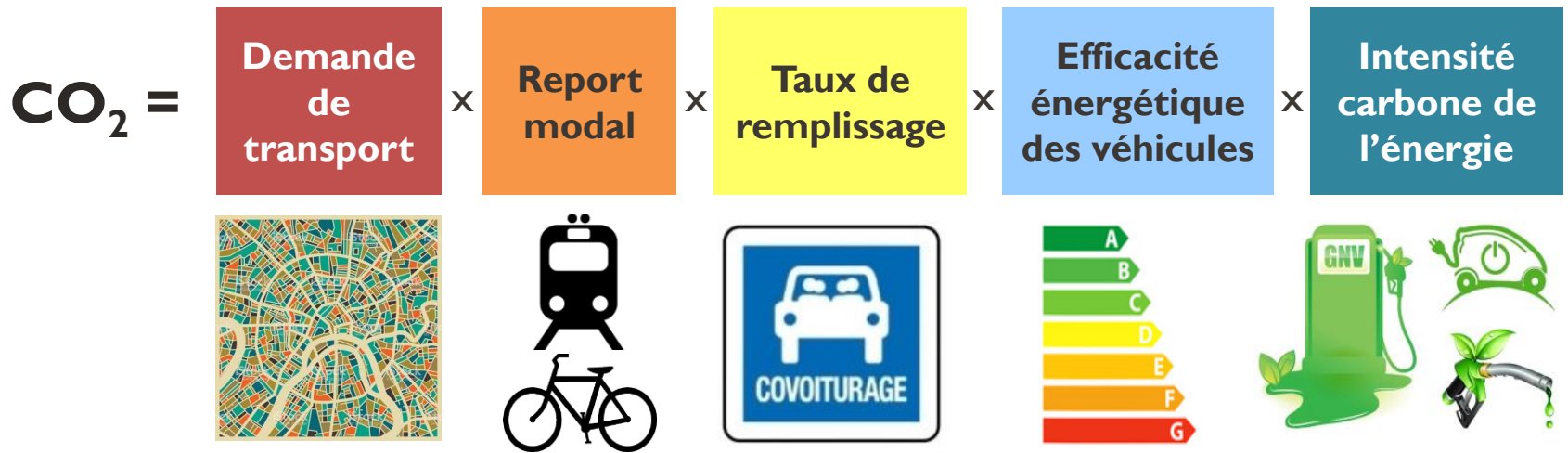
Résumé express de la session n°1

Objectif décarbonation à 2050



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

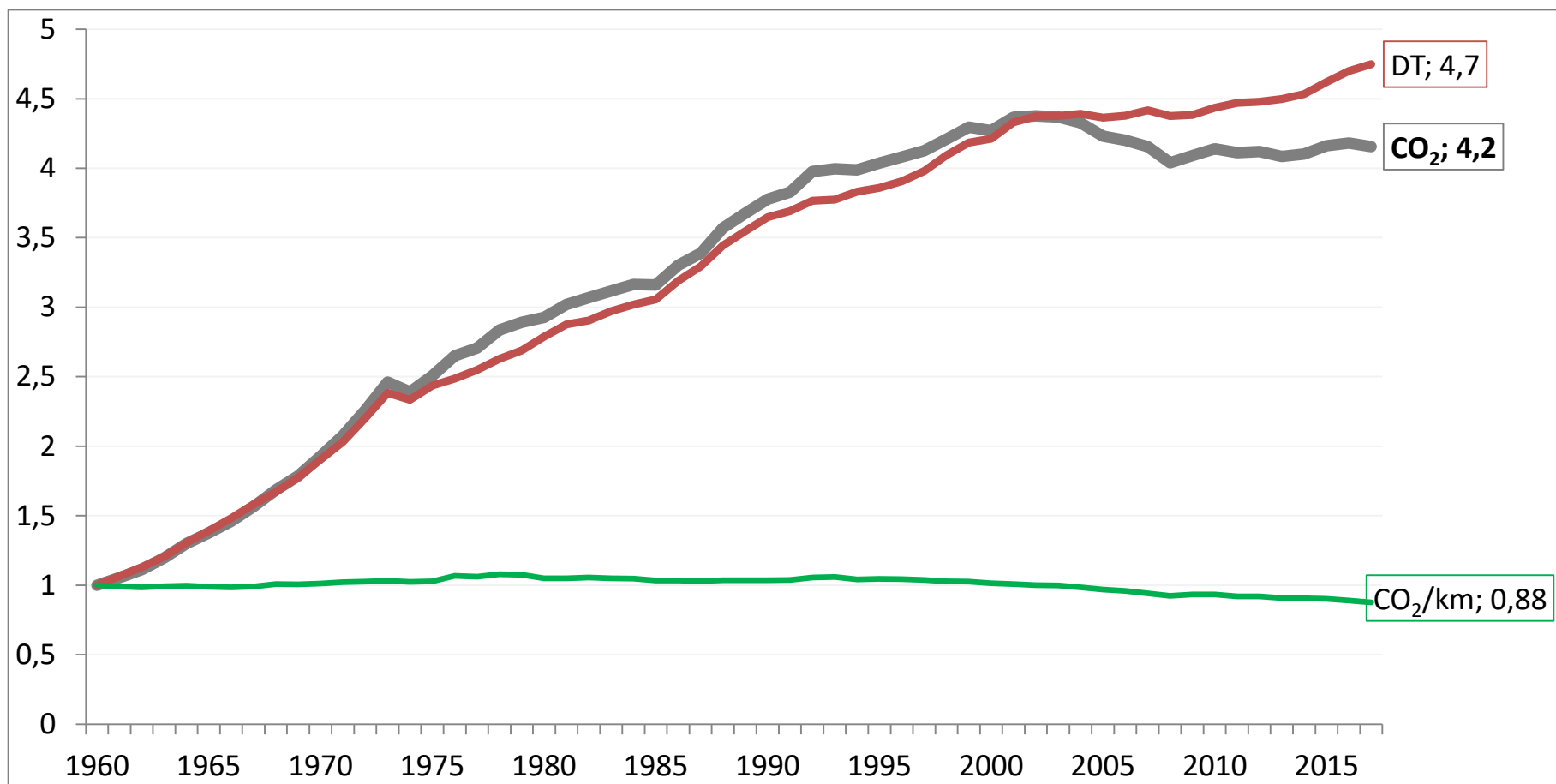
1 objectif, 5 leviers pour l'atteindre



Les 5 leviers de décarbonation de la SNBC

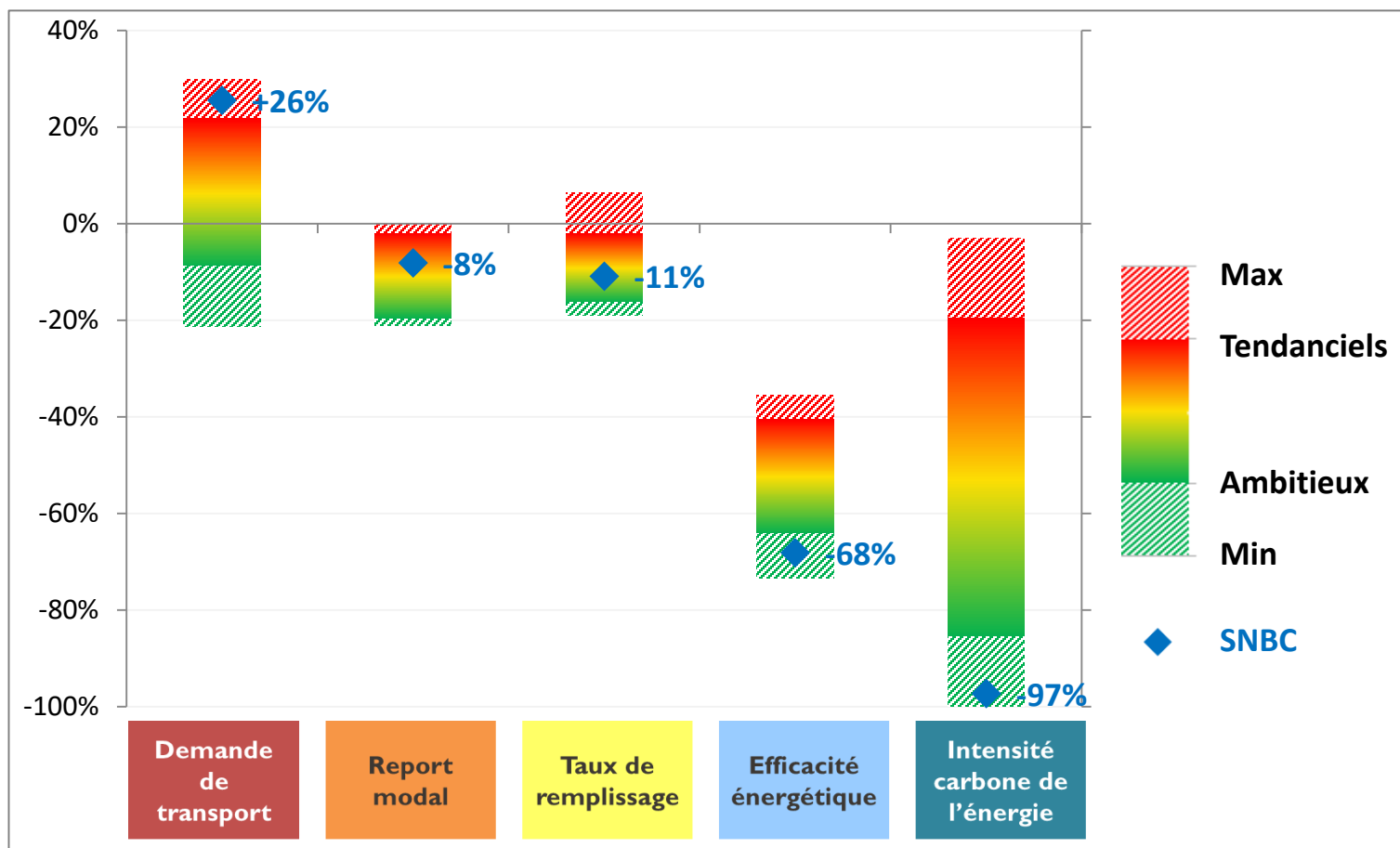
Voyageurs 1960-2017

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



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

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)

Problématique 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

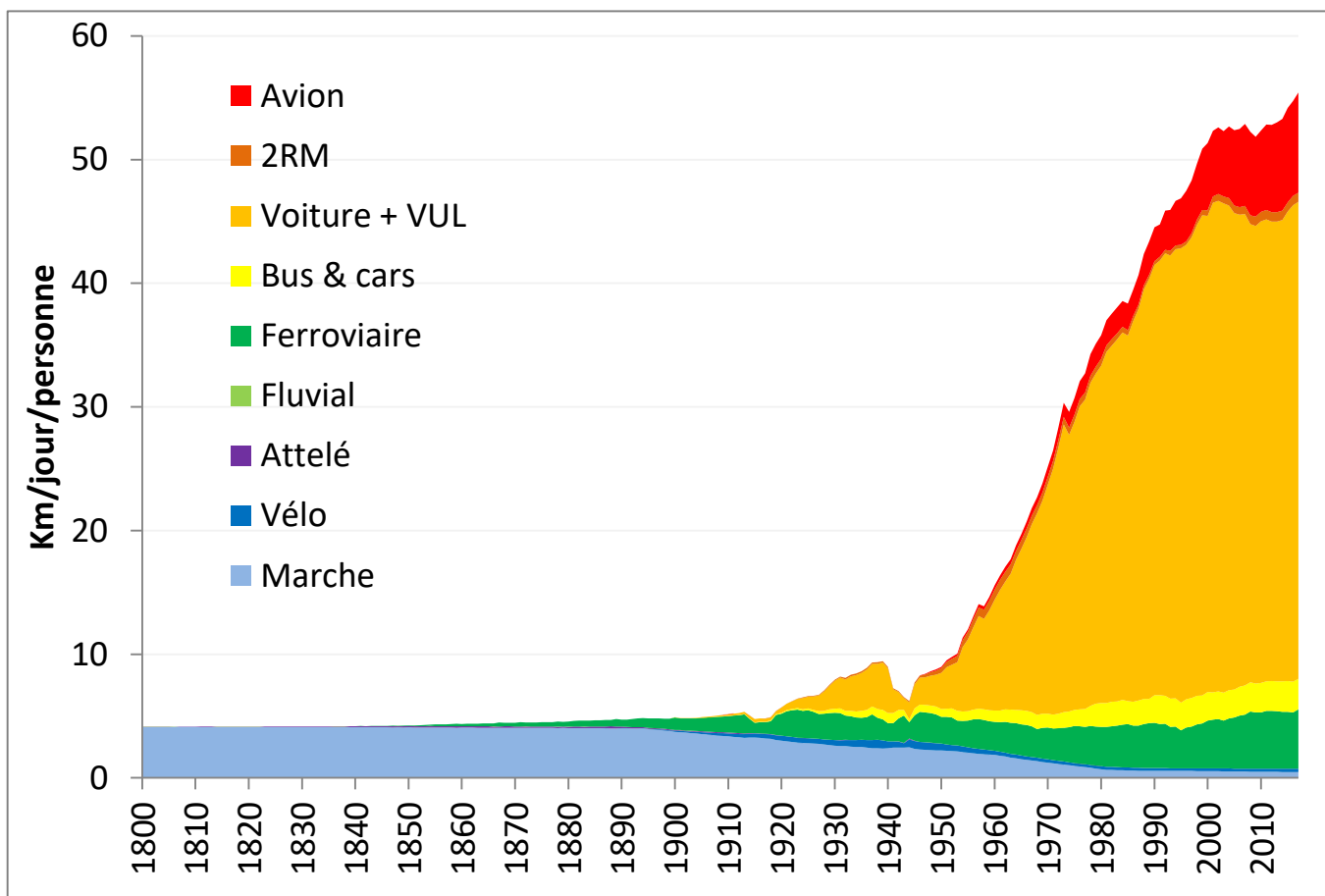
| | Temporel | | Moyens | | Vitesse | |
|------------|------------|------------|-------------|------------|--------------|----------------|
| | Passé | Avenir | Technologie | Sobriété | Accélération | Ralentissement |
| Chapitre 1 | Vert foncé | | Vert clair | Vert clair | | |
| Chapitre 2 | | Vert foncé | 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

Vitesse des déplacements

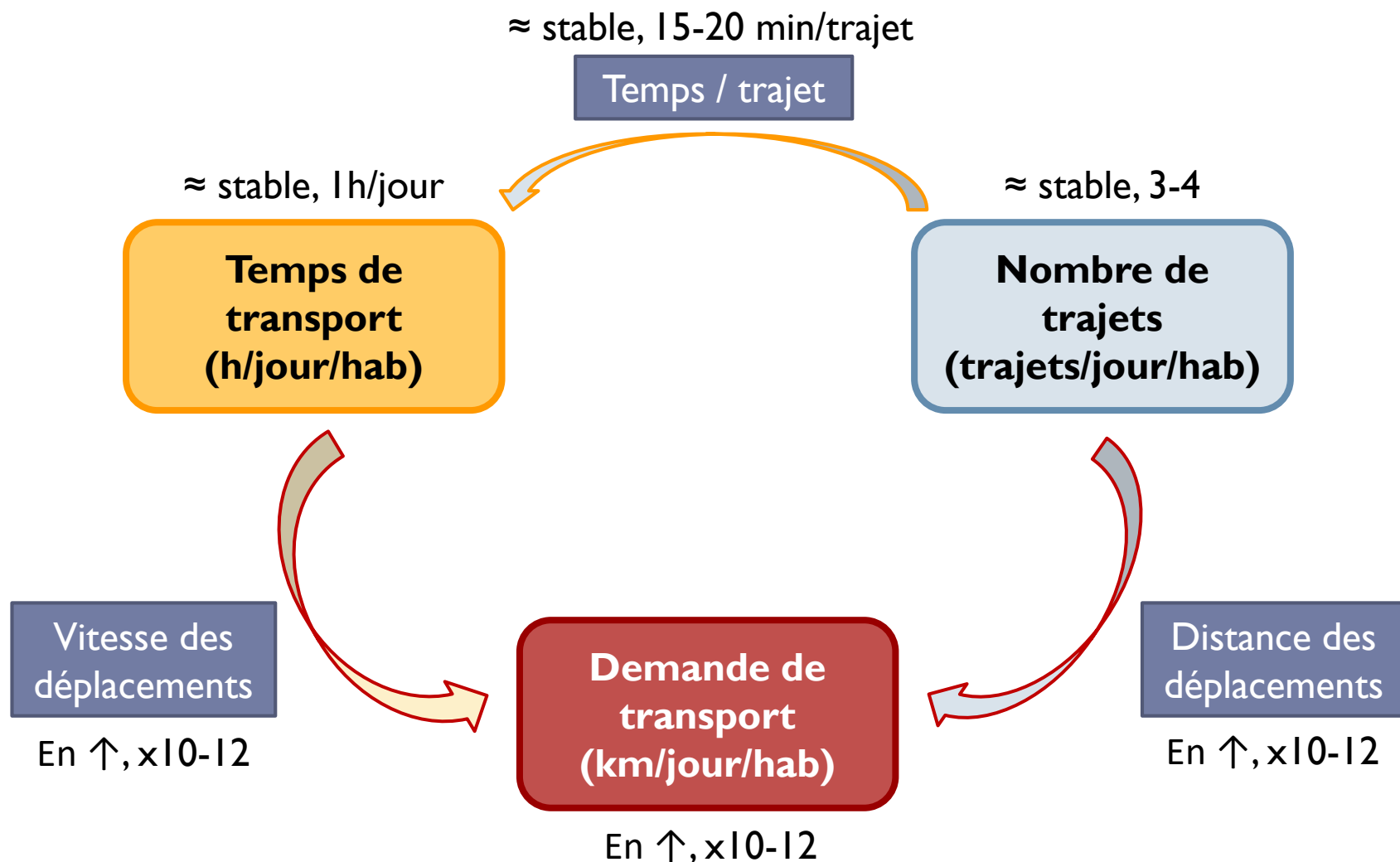
Accélération au 20^{ème} siècle,
ralentissement au 21^{ème} ?

La croissance des kilomètres parcourus



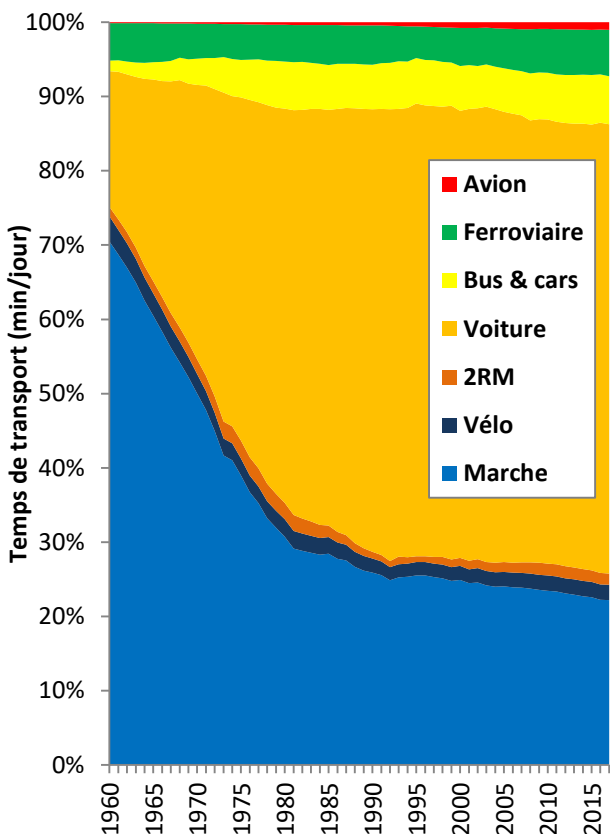
Les kilomètres parcourus par jour par mode de transport, de 1800 à 2017

Mobilités : quelles variables clés ?

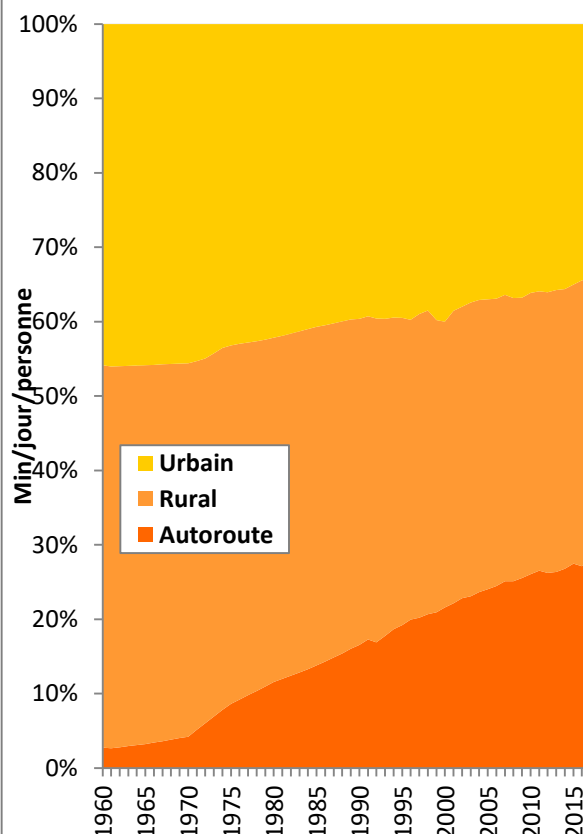


3 déterminants : report modal, infrastructures, vitesse

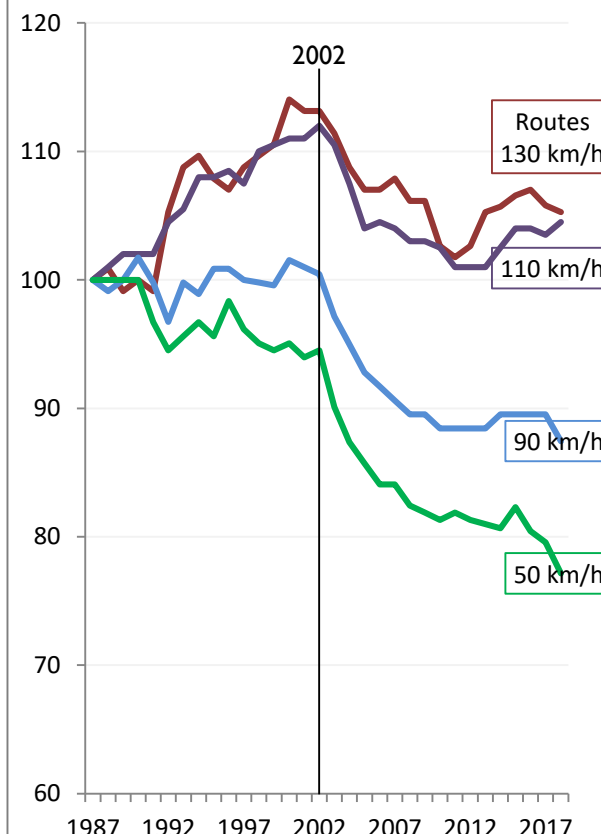
Report modal



Report d'infrastructures

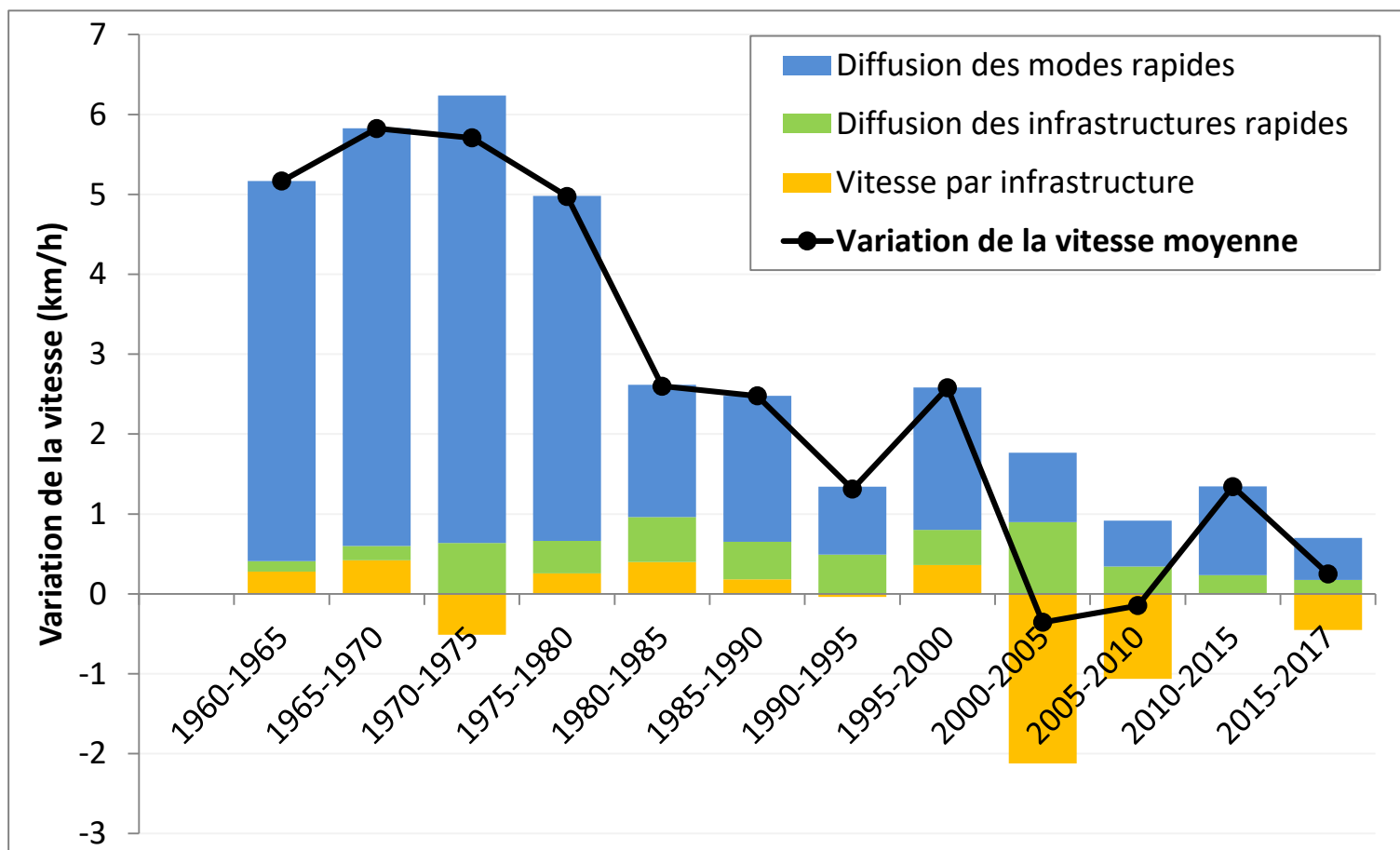


Vitesse sur les réseaux routiers



Déterminants de l'évolution de la vitesse des déplacements de 1960 à 2017

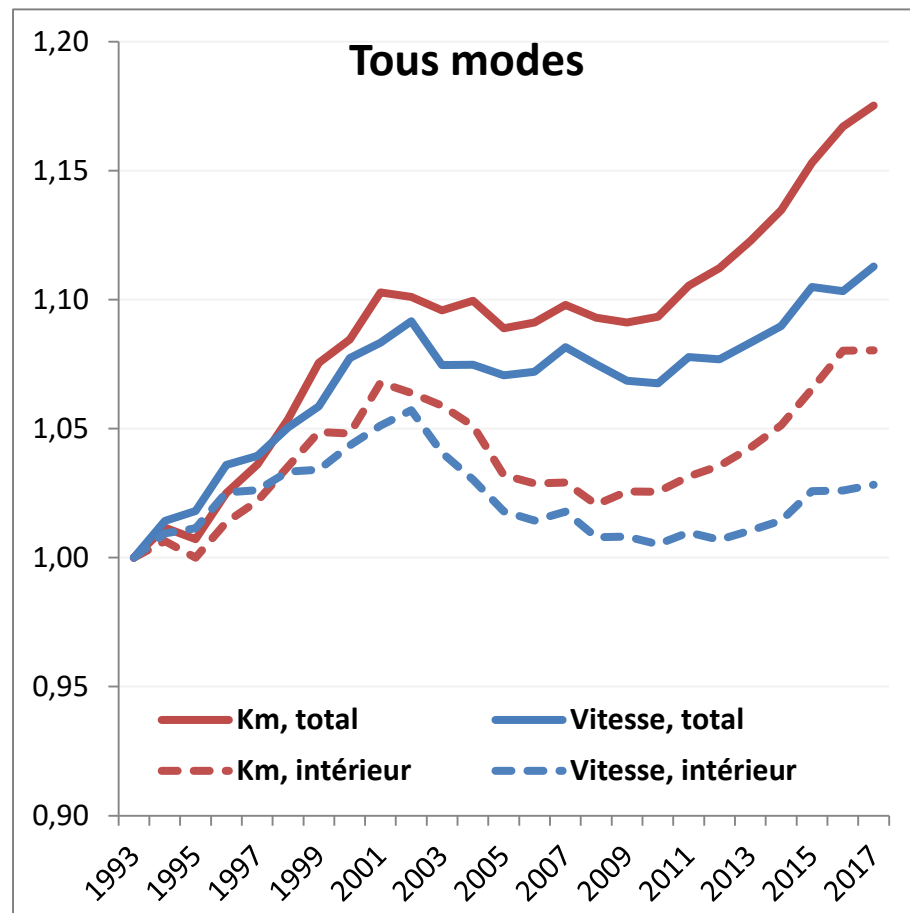
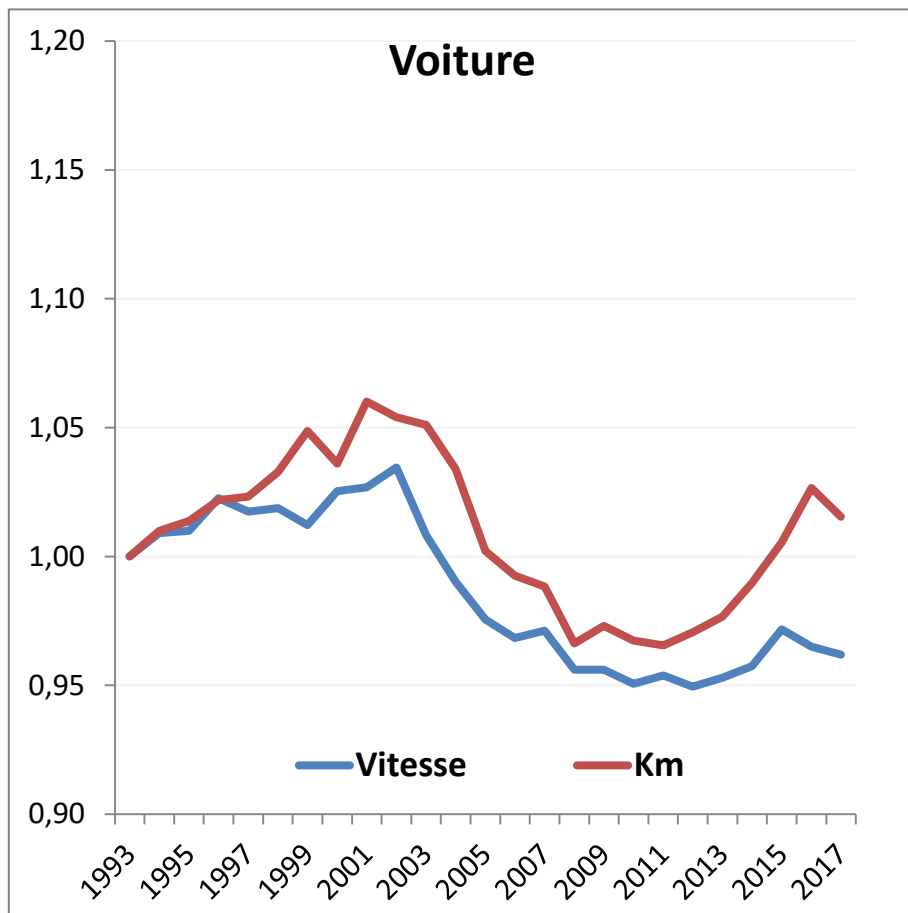
Facteurs explicatifs de l'évolution de la vitesse



Décomposition des 3 facteurs explicatifs de l'évolution de la vitesse moyenne, de 1960 à 2017

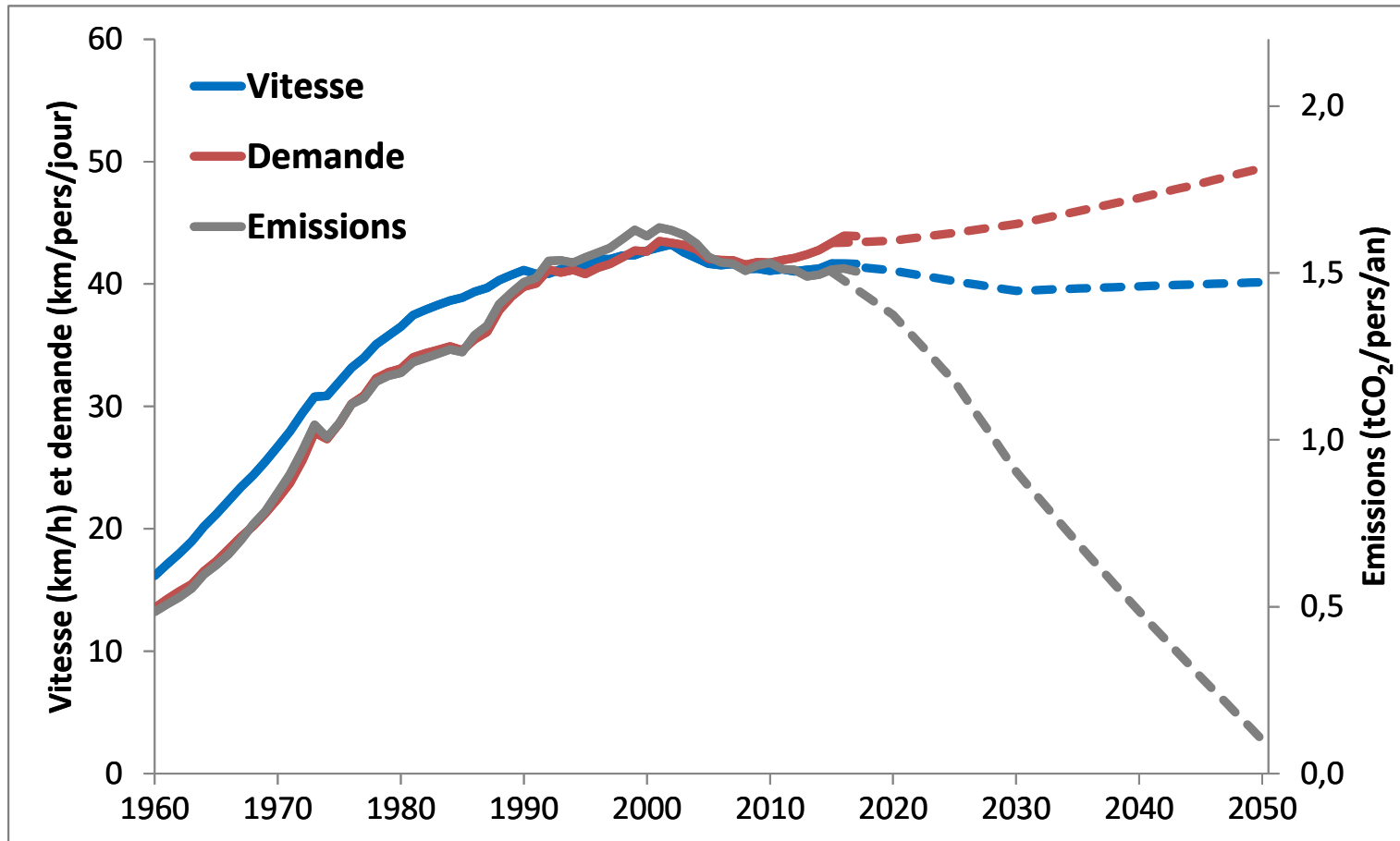
Echelle de 5 ans, sauf sur 2015-2017 ; international compris

Une explication complémentaire au *peak travel*



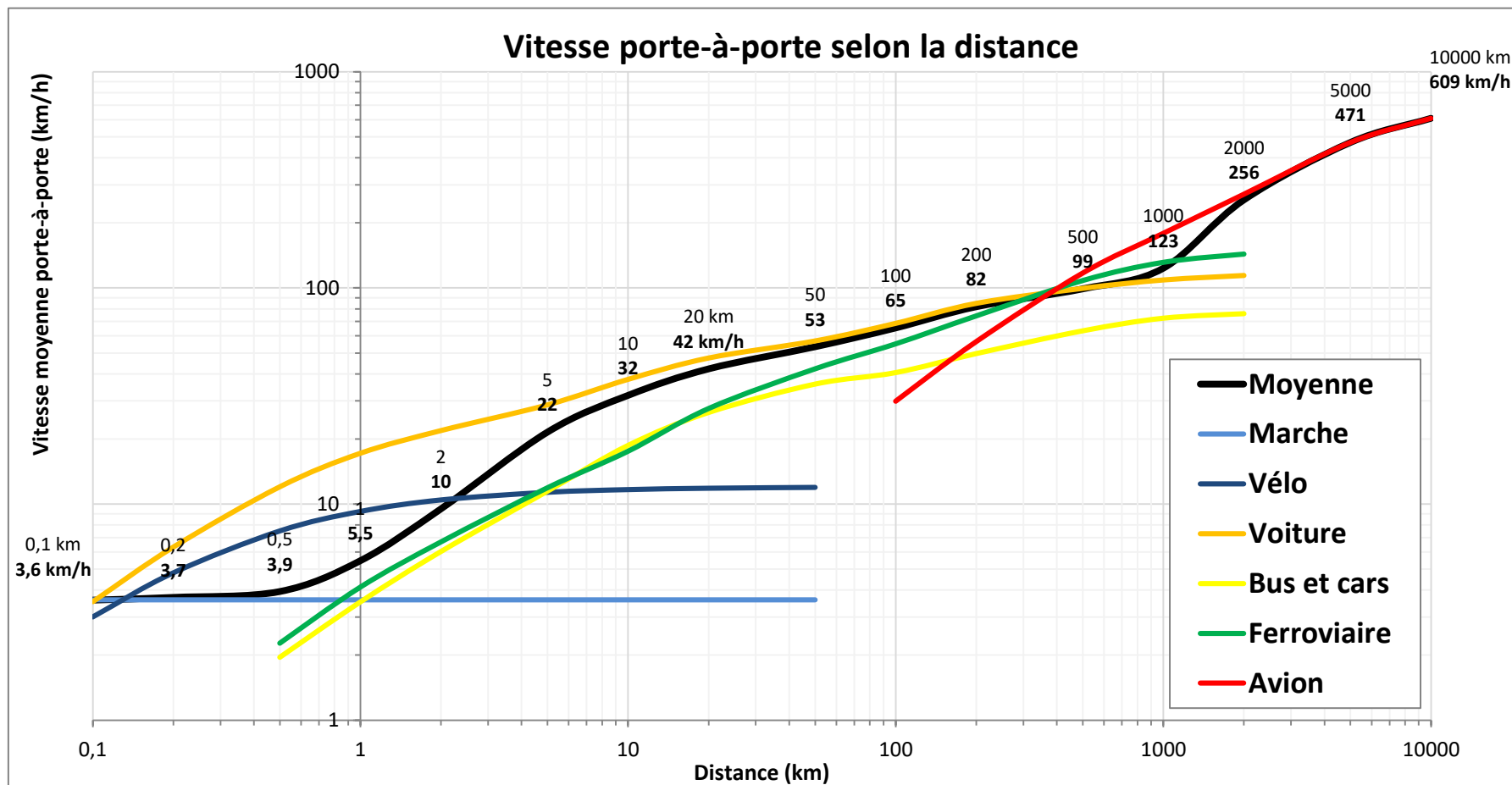
Evolution de la vitesse moyenne et des kilomètres parcourus par personne, de 1993 à 2017
(voiture seule à gauche, tous modes de déplacements à droite)

CO₂, demande et vitesse (passé + SNBC)



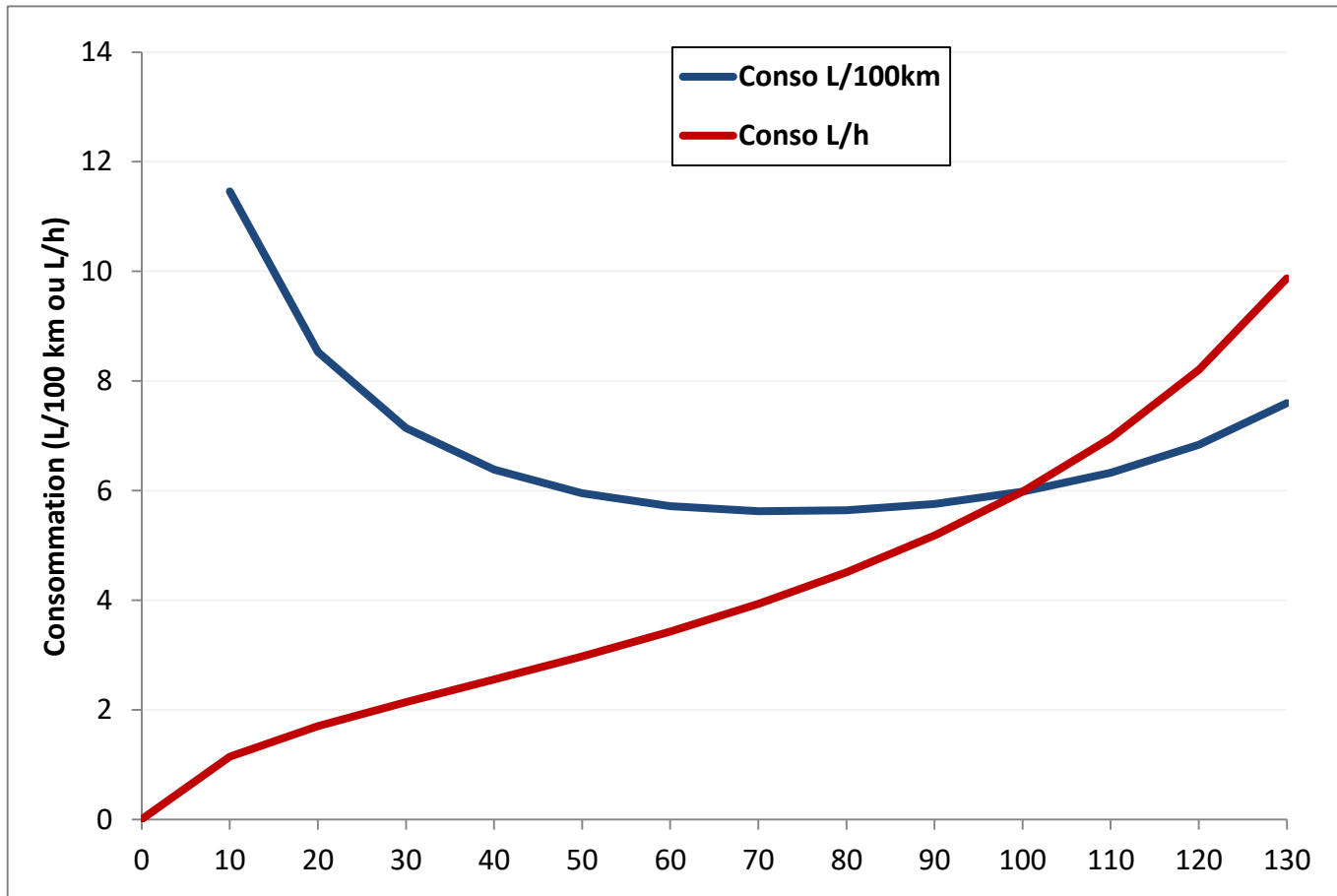
Evolution de la vitesse moyenne, de la demande et des émissions individuelles de 1960 à 2050
(périmètre Métropole ; voyageurs avec 60%VUL ; CO₂ biomasse inclus ; trajectoire 2015-2050 SNBC)

La vitesse moyenne est croissante avec la distance



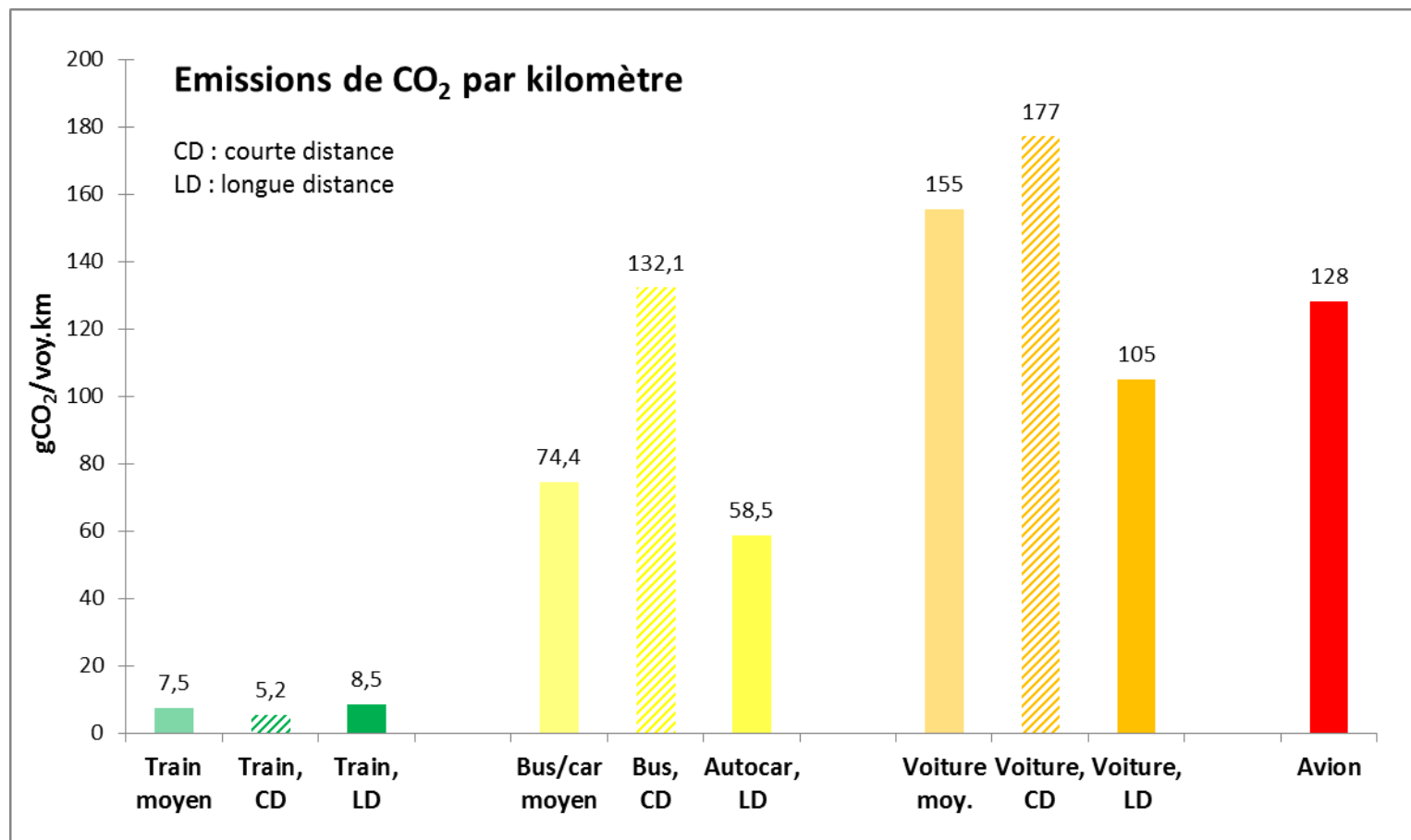
Vitesse moyenne porte-à-porte des déplacements selon la distance parcourue, au total et par mode (échelles logarithmiques)

Les consommations selon la vitesse, une courbe en U ?



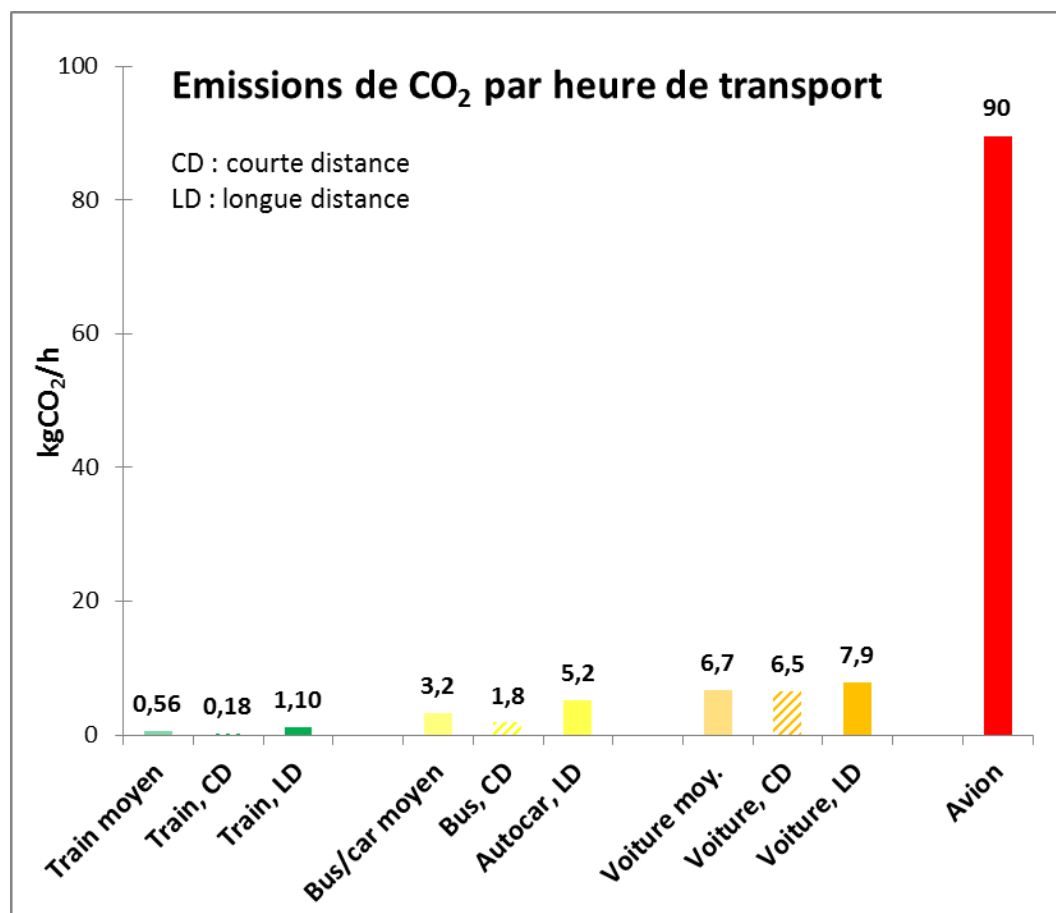
**Consommation d'une voiture thermique moyenne,
en litres pour 100 km et par heure de trajet**

Le report modal : émissions par mode



Emissions des modes de transport, par kilomètre, par heure et par trajet
(calcul d'après données [ADEME](#), [ENTD](#), [CGDD](#), [Arafer](#), [Omnil](#))

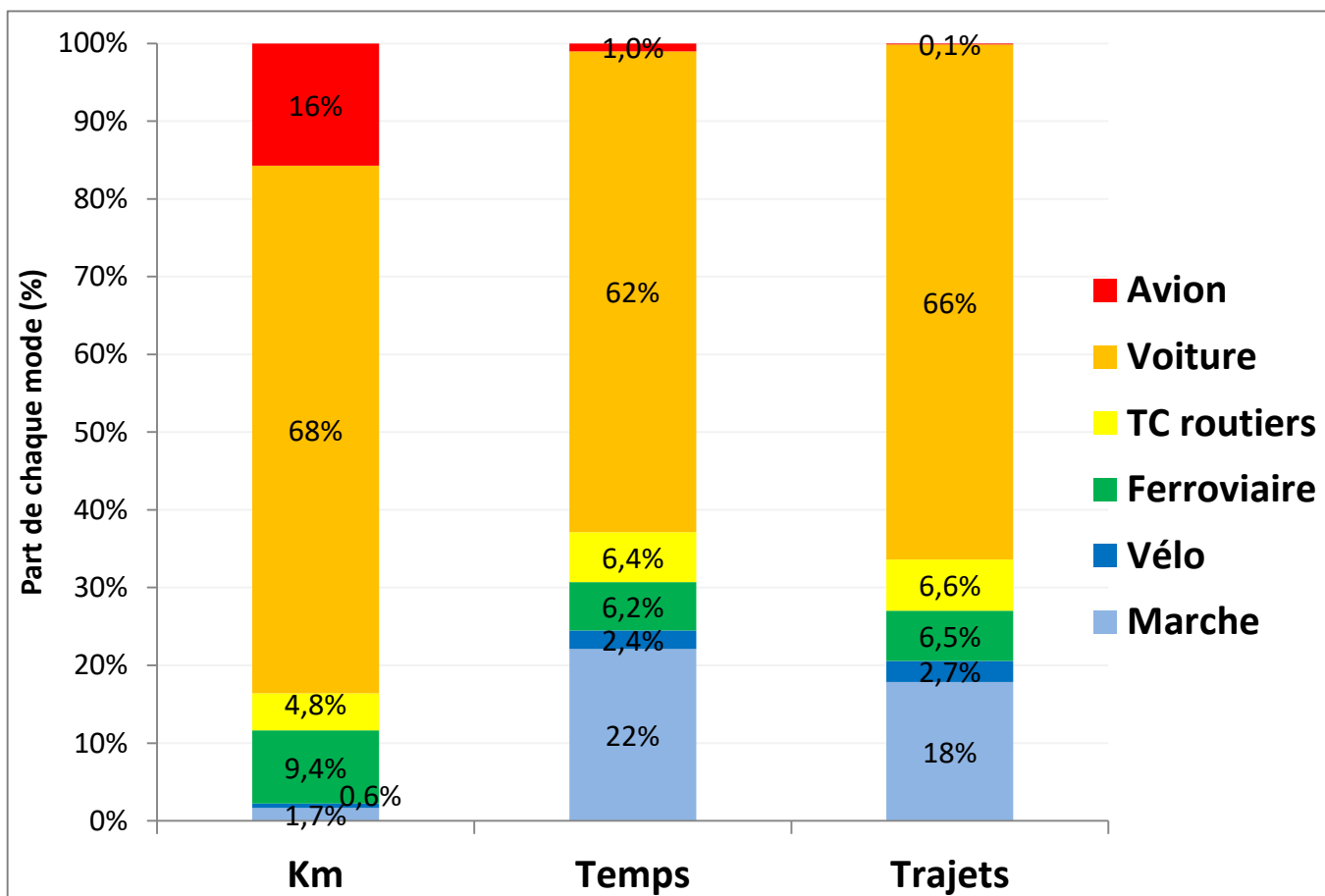
Le report modal : émissions par mode



Emissions des modes de transport, par kilomètre, par heure et par trajet
(calcul d'après données [ADEME](#), [ENTD](#), [CGDD](#), [Arafer](#), [Omnil](#))



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



Des questions ?

Fin de la partie 1 sur la vitesse

Sur quels leviers compter ?
Quelles politiques publiques ?

Principaux enseignements

Méthodologie d'évaluation des 5 leviers

L'évaluation temporelle des leviers

- Les tendances passées ; Les potentiels futurs ; L'état actuel

L'analyse des émissions de manière plus large

- Les interactions entre les facteurs
- L'analyse en cycle de vie (ACV)

Les coûts et bénéfices sociétaux

- L'impact sur les autres externalités
- Facilité et coûts de mise en œuvre

| Impact | Demande de T. | | | | | Report modal | | | | | TR | | | 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 | Green | Green | Green | Green | Green | Yellow | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Yellow | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Yellow | Green | Green | Green | Green | Green |
| Neutre | Yellow | Green | Yellow | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Yellow | Green | Green | Green | Green | Green | Yellow | Orange | Yellow | Yellow | Yellow | Green | Green | Green |
| Négatif | Orange | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Orange | Orange | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Orange | Green | Green |
| ? Incertain | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green |
| EMISSIONS GES | Green | Green | Green | Green | Green | Yellow | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Yellow | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Yellow | Green | Green | Green | Green | Green |
| EXTERNALITES | Yellow | Green | Yellow | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Yellow | Green | Green | Green | Green | Green | Yellow | Orange | Yellow | Yellow | Yellow | Green | Green | Green |
| FACILITE / COÛTS | Yellow | Yellow | Green | Green | Green | Green | Green | Orange | Orange | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Green | Orange | Green | Green |

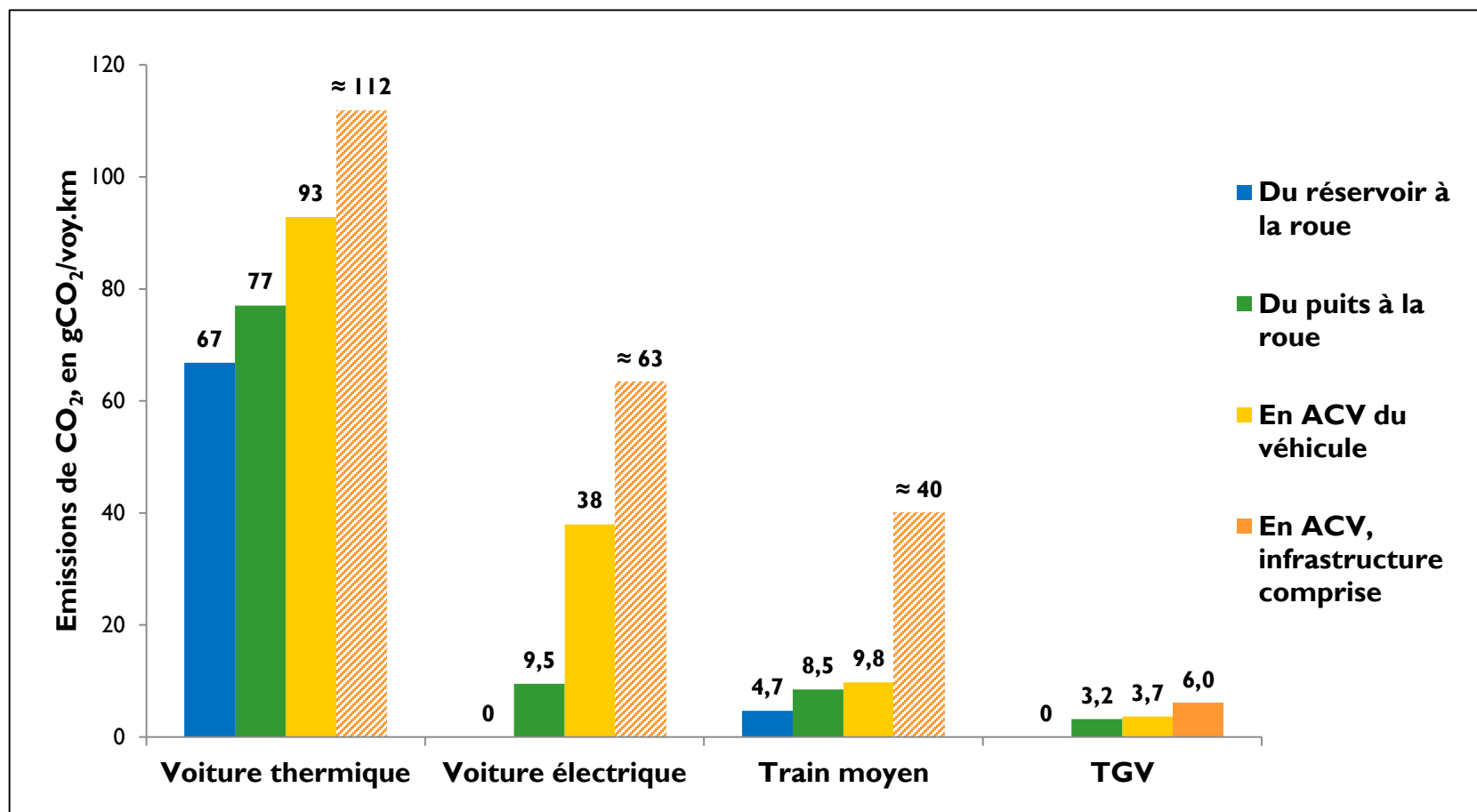
Interactions et effets rebonds entre les mesures

| 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

Voiture électrique : le besoin d'ACV



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

Impacts sur les autres externalités

| Impact | Demande de T. | | Report modal | | | | TR | | Efficacité Ener. | | | Intensité Carb. | | | | Sobriété | Technologie | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------------|-------------|--------------|--------------------|-------------------------|---------------|---------|--------|------------------|-----------|------------------------|-----------------|-------------|-------------|-----------------|----------|-------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------|----------------|------------|----------------|-----|--------|-----------|--------------|--|
| | 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 | |
| EXTERNALITES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Energies fossiles | | | ? | ? | ? | | | | | | | | ? | ? | ? | | | ? | | | ? | | | | ? | | | | |
| Conso d'énergie | | | ? | ? | ? | | | | | | | | ? | ? | ? | | | ? | | | ? | ? | | | | | | | |
| Pollution atmosphérique | ? | | | | | | | | | | | | ? | ? | ? | | | ? | ? | | | | ? | | | | | | |
| Autres impacts env | ? | | ? | | | ? | ? | | | ? | | | | | | | | | | | | | ? | ? | ? | ? | | | |
| Métaux | | | ? | | | | | | | | | | | ? | ? | | | | | ? | | | | | ? | | | | |
| Bruit | ? | | | ? | ? | ? | ? | | | ? | | ? | | ? | | | | ? | | | | | | ? | ? | | | | |
| Congestion routière | | ? | | ? | ? | | ? | | ? | ? | ? | | ? | | ? | | | ? | | | | | | | | | | | |
| Conso d'espace / Biodiversité | | | ? | ? | ? | | | | | | | | ? | ? | ? | | | ? | ? | | | | | | ? | | | | |
| Accidentologie | ? | ? | | | | | ? | | | | | | | | ? | ? | | | | | | | | | | | | | |
| Sédentarité | | ? | | ? | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dépendance automobile | | | ? | ? | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inégalités territoriales | ? | ? | ? | ? | | ? | ? | | | | ? | | | | | | | ? | | | ? | | | ? | ? | | | | |
| Inégalités sociales | ? | ? | ? | ? | | ? | | | | | | | | ? | | | | | | | | | ? | | ? | ? | | | |
| Résilience | ? | ? | | | | ? | ? | | | ? | | | | | ? | ? | ? | ? | ? | ? | ? | ? | ? | | ? | ? | | | |

Principales évolutions suggérées pour la transition énergétique, et leurs externalités

La voiture électrique, solution magique pour l'écologie ?

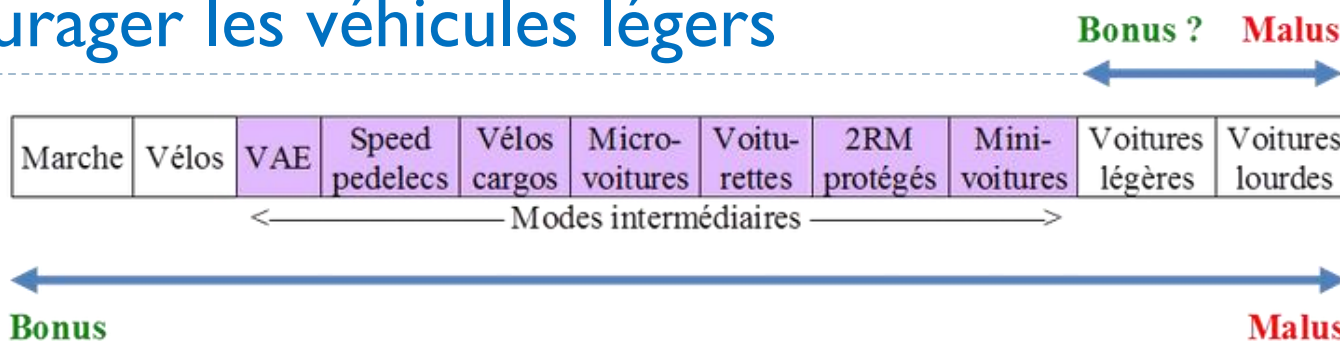


Variation des impacts environnementaux des modes alternatifs aux voitures et poids-lourds thermiques

Le potentiel inexploité des modes intermédiaires



Encourager les véhicules légers



| Type de véhicule | Vélo | VAE | Twizy 80 | Renault Zoé | Voiture neuve moyenne en 2016 |
|--------------------------------------|--------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Prix | 339 € prix moyen | 1 564 € prix moyen | 11 439 € avec batterie, portes | 32 600 € avec batterie | 25 828 € |
| Aide à l'achat | 0 € 0 % | 200 € / 13 % ménages non imposables | 900 € 8 % | 6 000 € 18 % | Malus selon les modèles |
| Poids à vide (kg) | 15-20 kg | 20-25 kg | 474 kg* | 1480 - 1500 kg | 1261 kg |
| Propulsion / Moteur | Humaine | Humaine et électrique | Electrique | Electrique | Thermique principalement |
| Vitesse maximale | Env. 20 km/h sur du plat | Assistance jusque 25 km/h | 80 km/h | 135 km/h | 186 km/h |
| Puissance (W) | Cycliste 0,1 kW | 0,25 kW électrique | 13 kW | 57-80 kW | 85 kW |
| Batterie | | 0,4 kWh environ | 6,1 kWh | 41 kWh | |
| Autonomie | | 50 km très variables | 75 km (100 km annoncés) | 300 km (400 km annoncés) | |
| Coût de l'énergie pour 100 km | | 0,12 € | 1,18 € | 1,98 € | 8,91 € |

Comparaison de différents véhicules, en termes d'efficacité énergétique, de coûts et d'aides publiques

Facilité et coûts de mise en œuvre

| Impact | Demande de T. | | Report modal | | | | TR | | Efficacité Ener. | | | Intensité Carb. | | | | Sobriété | Technologie | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------|-------------|--------------|--------------------|-------------------------|---------------|---------|--------|------------------|-----------|------------------------|-----------------|-------------|-------------|-----------------|----------|-------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------|----------------|------------|----------------|-----|--------|-----------|--------------|---|---|
| | 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 | | |
| Positif | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Neutre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Négatif | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Incertain | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FACILITE / COÛTS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tendanciel | ? | | | ? | ? | | | | ? | ? | | | | | | | ? | | ? | ? | | | ? | | | | | ? | ? | |
| Rapidité mise en œuvre | | | | ? | ? | ? | ? | | | | | ? | ? | | | | | | | | | | | | | | | | ? | ? |
| Coût politiques publiques | ? | ? | | ? | ? | | | ? | | | | | | | | ? | | | | ? | | ? | | ? | ? | ? | | | ? | ? |
| Coût usagers | ? | | | ? | ? | | | | ? | ? | | | ? | | | | | | | ? | ? | ? | ? | ? | ? | ? | | | ? | ? |
| Acceptabilité | ? | ? | | | | | | ? | ? | ? | | | | | | ? | ? | ? | | | ? | ? | ? | ? | ? | ? | | | | ? |
| Chgmts comportements | ? | ? | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Temps de transport | | | ? | | | ? | ? | ? | | ? | | | | | | | ? | ? | | | | | | | | | | | | ? |
| Distance / Accessibilité | | | | | | | | ? | | | | ? | | | | ? | ? | ? | | | | | | | | | | | | ? |
| Confort | | | | | | ? | ? | ? | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ? |
| Emploi | | | | | | | | | | | | | | | ? | | | | | ? | ? | ? | ? | ? | ? | ? | | | ? | ? |
| Lien social | ? | ? | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ? |

Principales évolutions suggérées pour la transition énergétique, leurs facilité ou coûts de mise en œuvre



Des questions ?

Fin de la partie 2 sur les politiques publiques

Principaux enseignements de la thèse

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

Principaux enseignements de cette formation #2

Le ralentissement des mobilités au XXI^{ème} siècle ?

- XX^{ème} : stabilité des temps et nombre de trajets, explosion des distances
- Peu de marges de hausse à l'avenir, hormis transport aérien, autoroutes...?
- 3 effets interdépendants de mobilités sobres sur le ralentissement
 - Effets directs : 30 km/h en ville, 110 km/h sur autoroute, baisses en zone rurales, etc.
 - Effets de report modal : essor marche et vélo ; modération de l'aérien, de la voiture
 - Effets de proximité : les déplacements plus courts sont plus lents

Des potentiels de baisses d'émissions aux politiques publiques

- Effets indirects
 - Interactions et effets rebond entre facteurs
 - Analyse en cycle de vie
- Coûts et bénéfices pour la société
 - Les autres externalités
 - Mise en œuvre des politiques publiques
- Aparté : le potentiel des véhicules intermédiaires à explorer
 - Avantages : faible coût, consommation de ressources, d'énergie, activité physique, etc.