

Louis Beaumier  
Simon Langlois-Bertrand  
Normand Mousseau



Olivier Bahn

Marie Pied  
Kathleen Vaillancourt

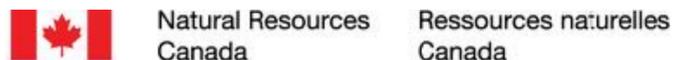


Avec la contribution de: Guillaume Baggio,  
Marcelin Joanis,  
Thomas Stringer

HORIZON  
2060

# Perspectives énergétiques canadiennes 2021

**Quand la carboneutralité change tout!**





**Normand Mousseau**  
**Professeur de physique, Université de Montréal**

**Directeur scientifique, Institut de l'énergie Trottier**  
**Polytechnique Montréal**



# INSTITUT DE L'ÉNERGIE **TROTTIER**



## **Mission:**

La **formation** d'une nouvelle génération d'ingénieurs, de scientifiques et d'innovateurs ayant une compréhension systémique et transdisciplinaire des enjeux énergétiques;

La **recherche** de solutions durables qui permettront d'assurer l'avenir énergétique, en appuyant la génération de connaissances et l'innovation dans le domaine énergétique afin d'aider à relever les défis auxquels la société fera face au cours des prochaines décennies;

La **diffusion** des connaissances liées à l'énergie pour ainsi contribuer à hausser le niveau des débats sociaux sur les questions énergétiques.

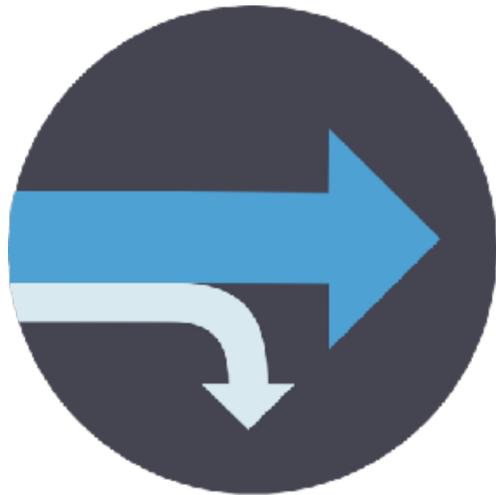


INSTITUT CANADIEN POUR DES  
**CHOIX CLIMATIQUES**

The **Transition  
Accelerator**



L'**Accélérateur  
de transition**

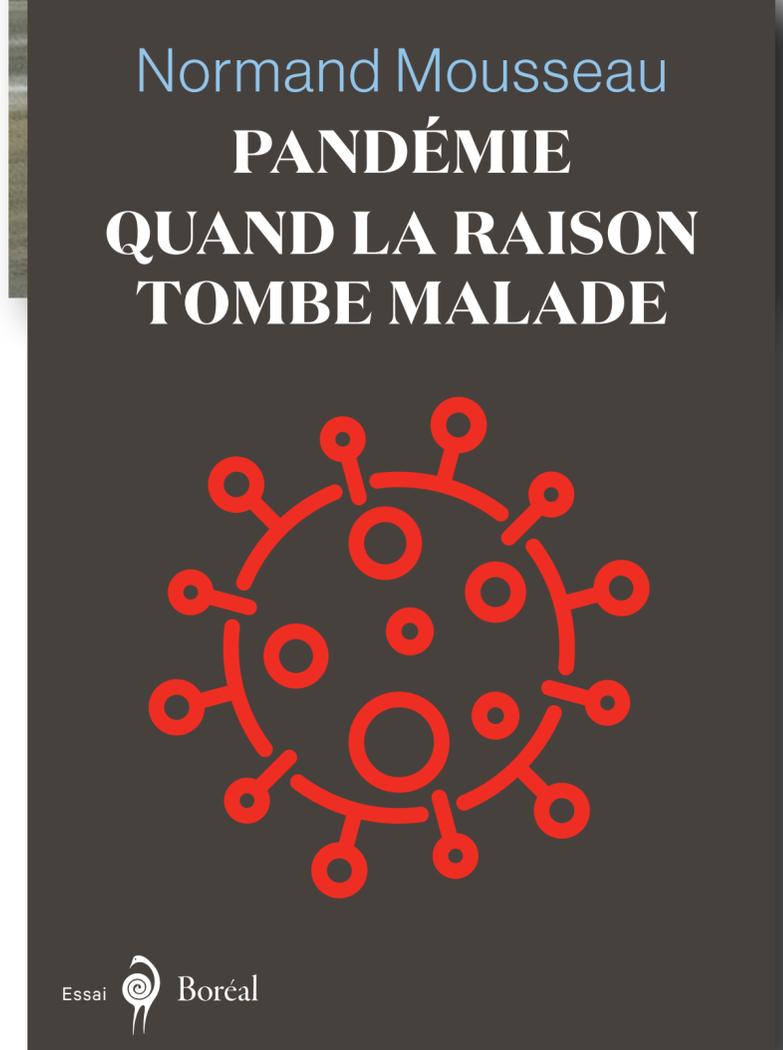
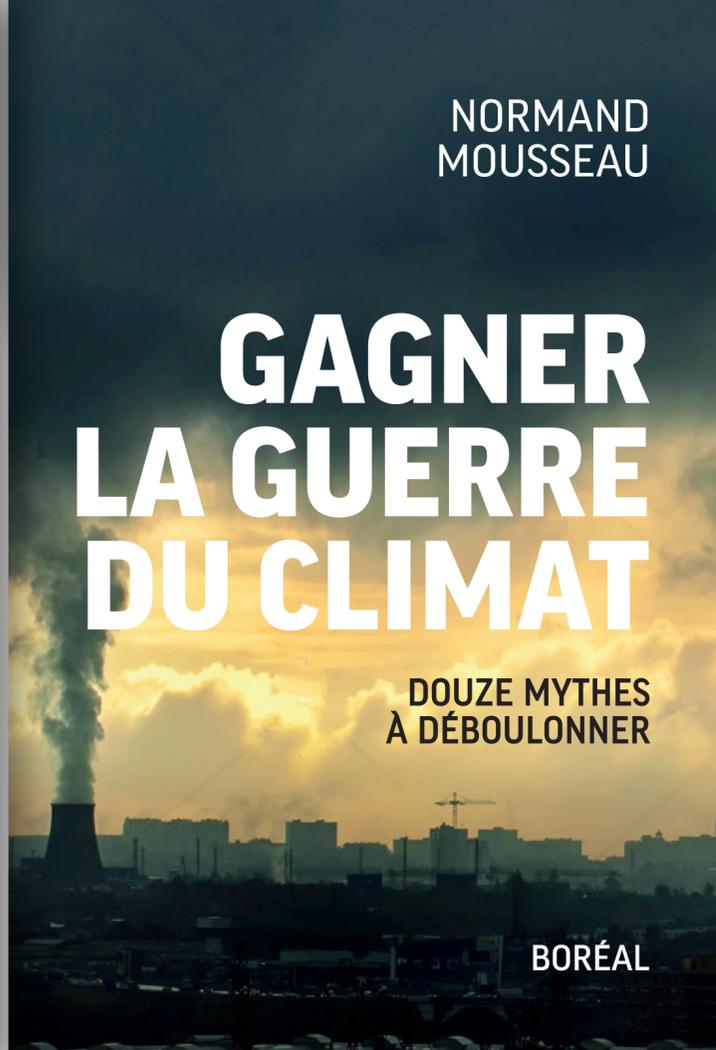
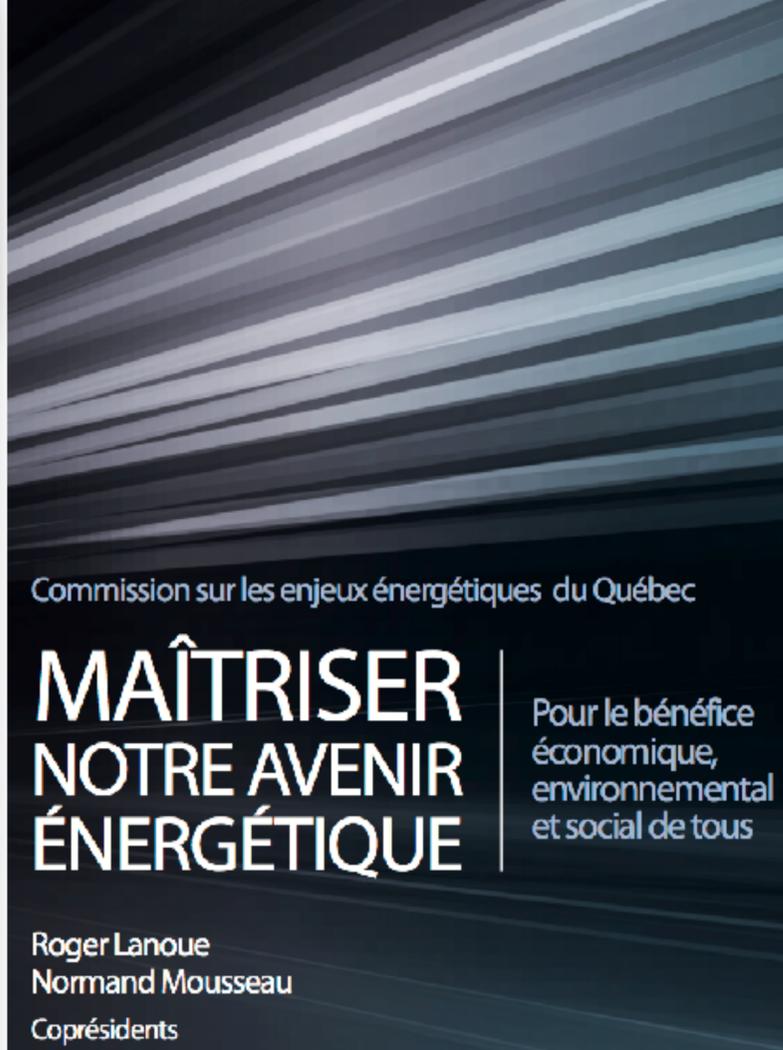
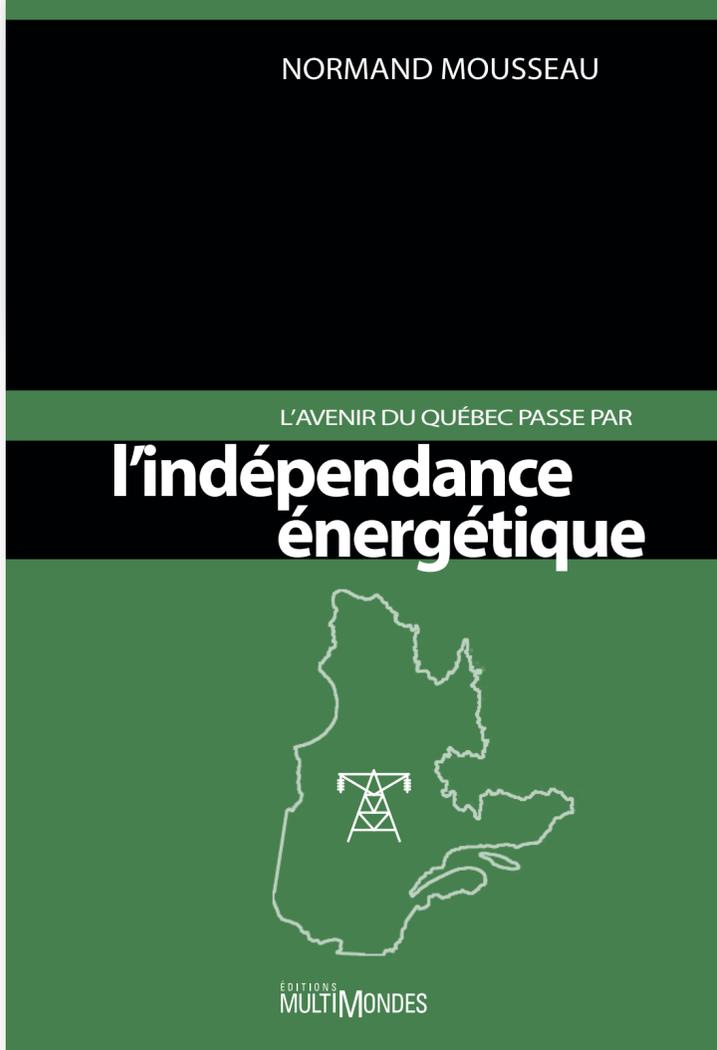
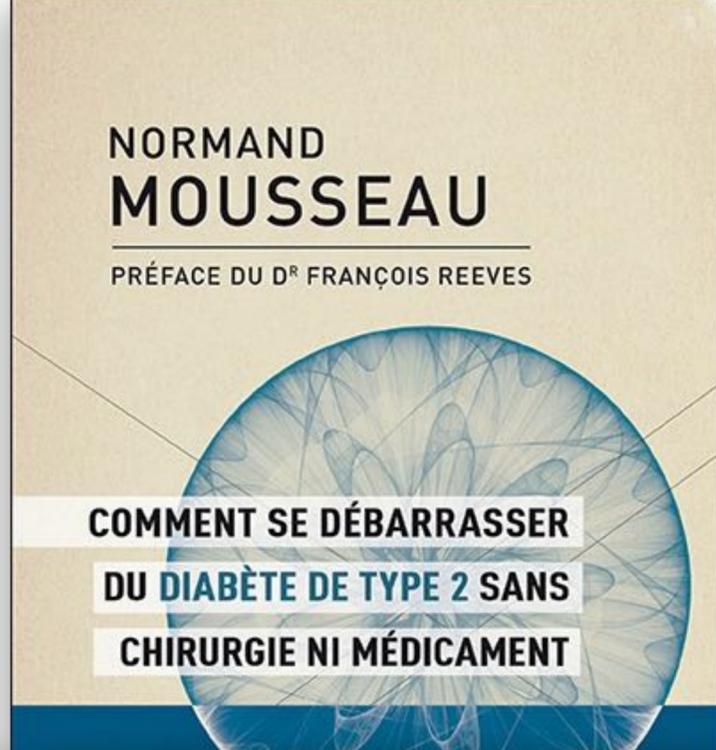
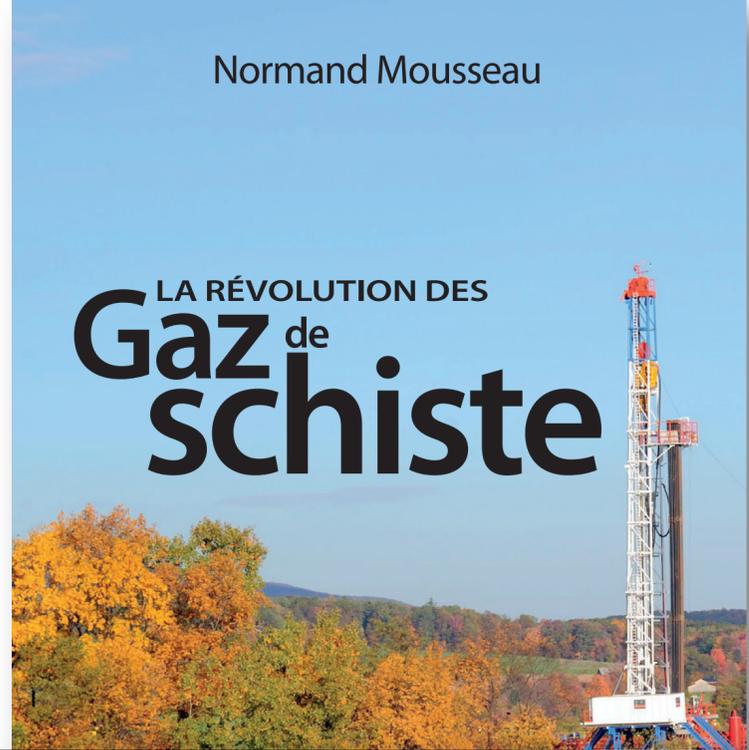
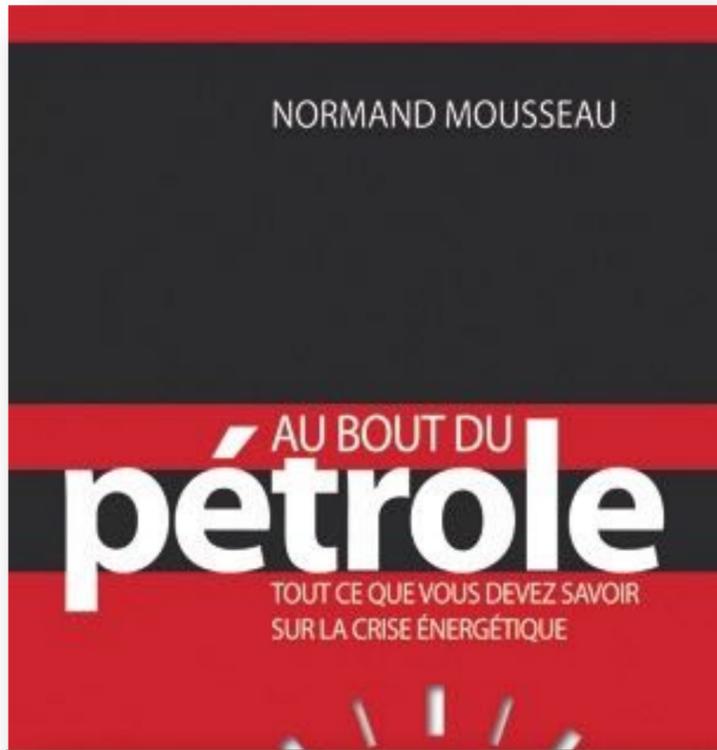


**Initiative de modélisation énergétique**

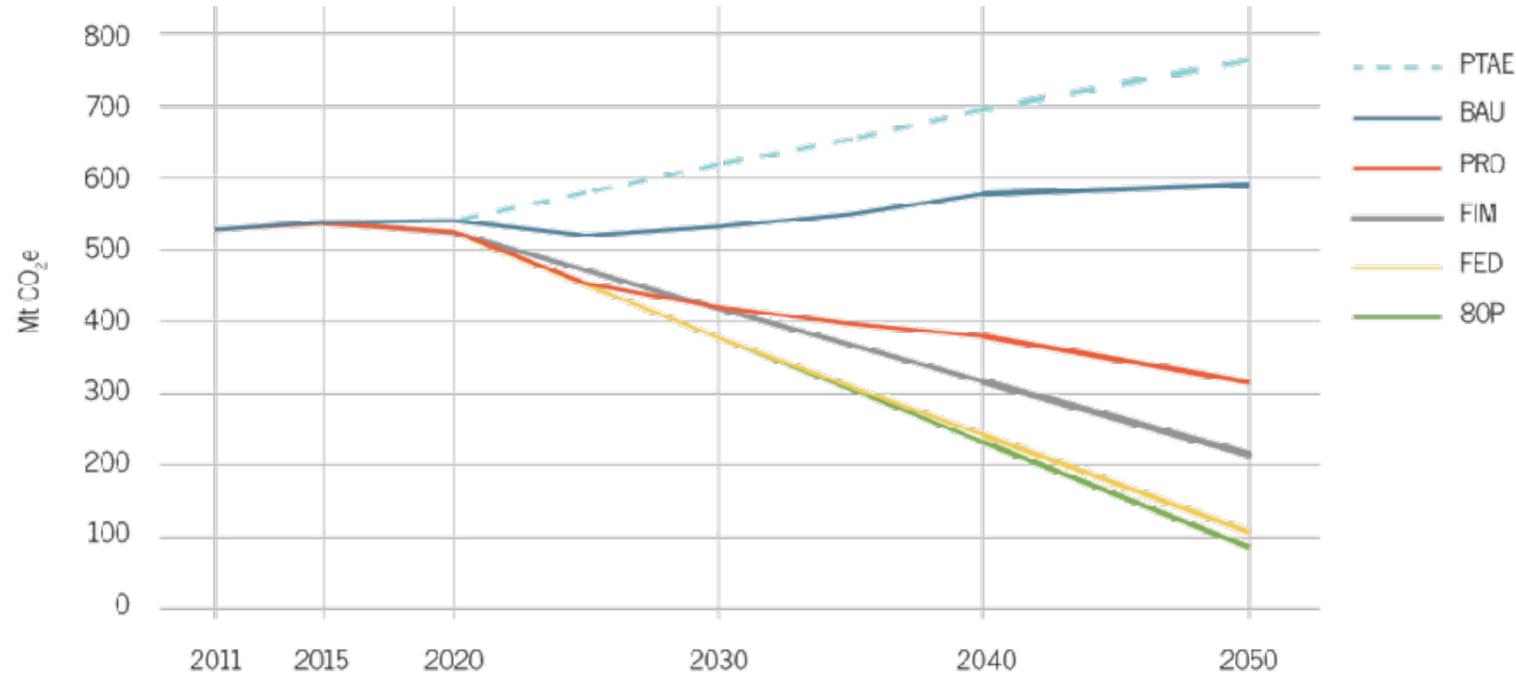
*Outiller le Canada pour réussir la transition*

2019-2021





Émissions de GES liées à l'énergie



Consommation d'énergie finale par source



# Perspectives énergétiques canadiennes

2018

## horizon 2050

**IET** INSTITUT DE L'ÉNERGIE TROTTIER

**Pôle3** Expertise en énergie et en environnement  
HEC MONTRÉAL

Modélisation

Soutien financier

**ESMIA**  
Energy Super Modelers and International Analysts

FONDATION FAMILIALE TROTTIER  
FAMILY FOUNDATION

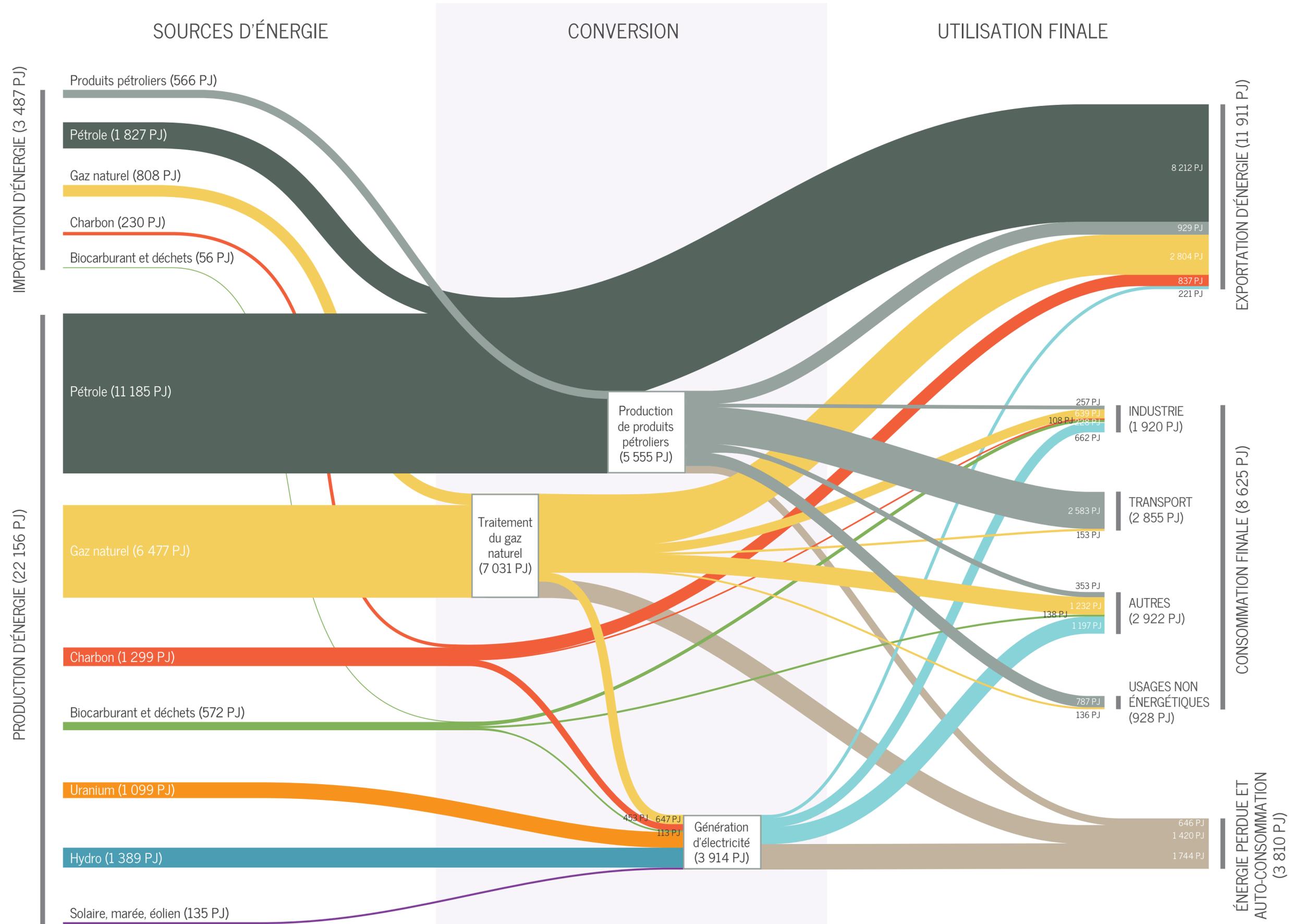
Disponible en ligne  
[iet.polymtl.ca/perspectives-energetiques](http://iet.polymtl.ca/perspectives-energetiques)

# L'énergie au Canada

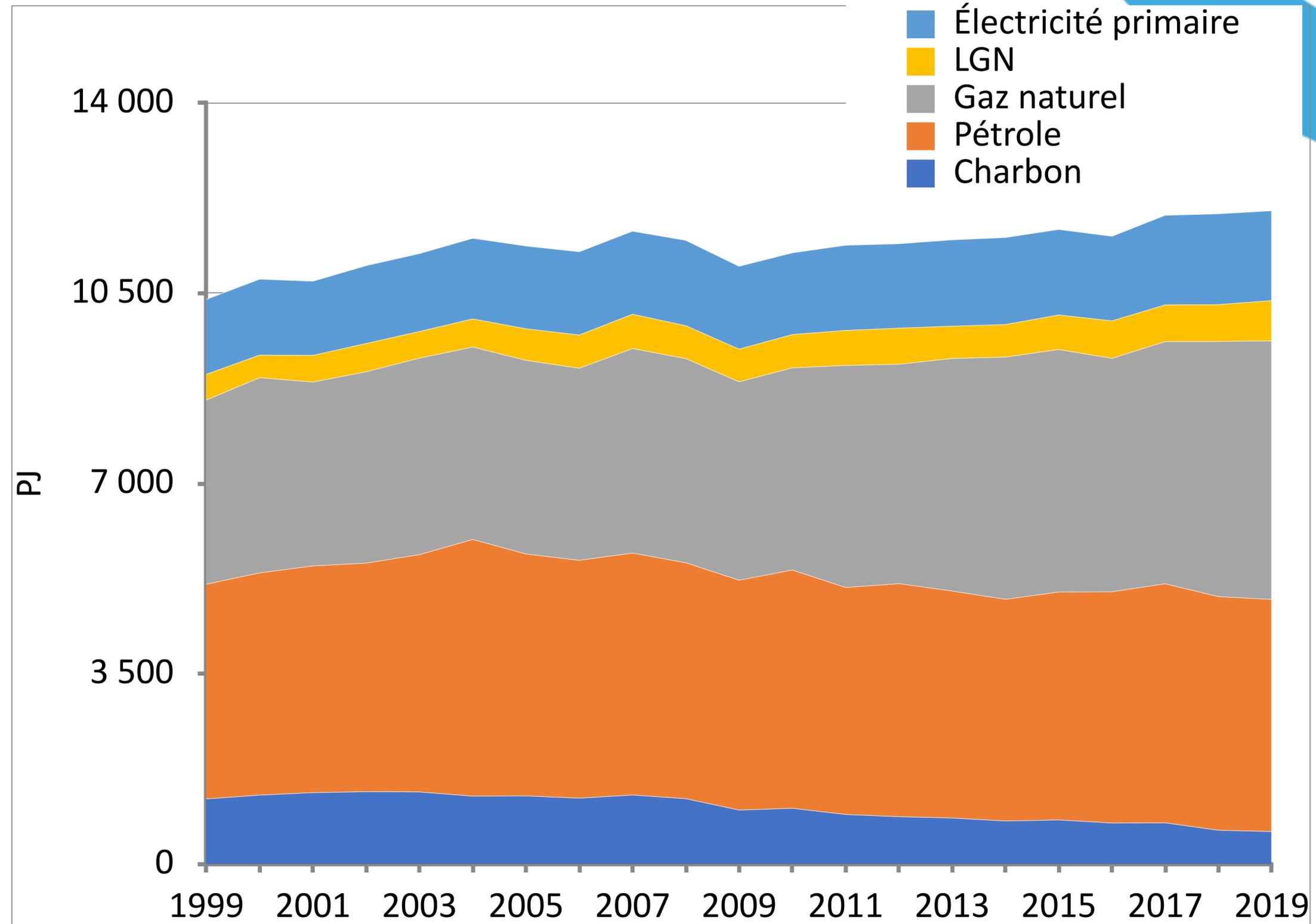
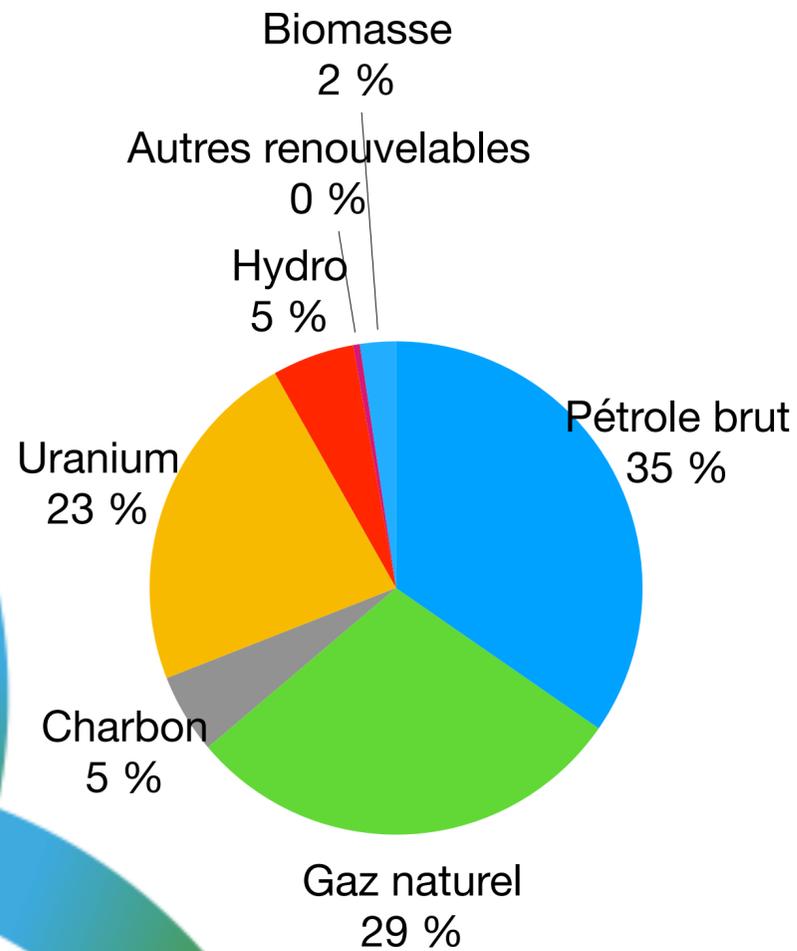
- Parmi les plus importants producteurs et exportateurs d'énergie au monde
- 81 % de la production d'électricité provient de sources à faibles émissions de carbone (variable selon provinces)
- Ces dernières années, les exportations de pétrole brut ont presque triplé.
- Un des niveaux de consommation d'énergie par habitant les plus élevés au monde (grandes variations entre provinces)
- Les prix mondiaux du pétrole, l'accès de l'énergie aux marchés et les objectifs de réduction des émissions de GES sont les sujets qui dominent actuellement les débats sur l'énergie au Canada.

# Classement mondial des réserves/capacités, de la production et des exportations

Ressource énergétique	Réserve/capacité prouvée	Production	Exportations
Pétrole brut	3	4	4
Uranium	3	2	4
Hydroélectricité	3	3	-
Électricité	8	6	3
Charbon	16	13	7
Gaz naturel	17	4	6

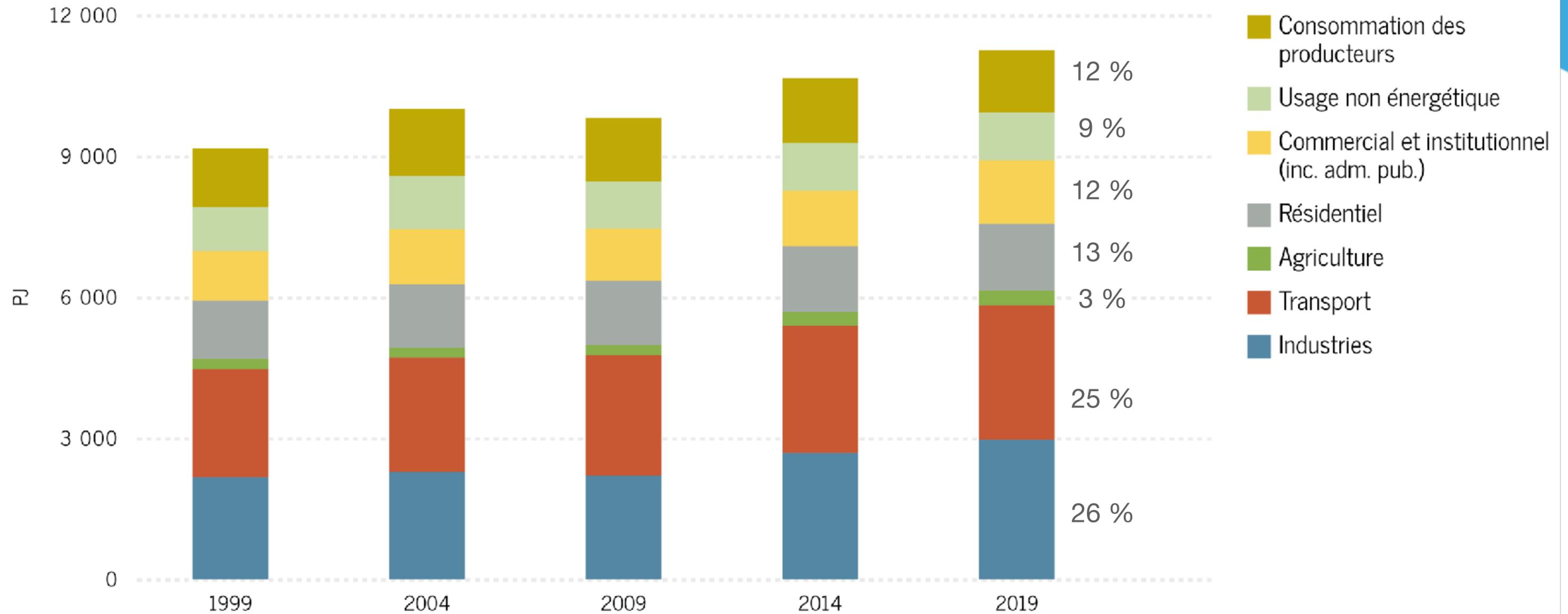


# L'énergie consommée au Canada



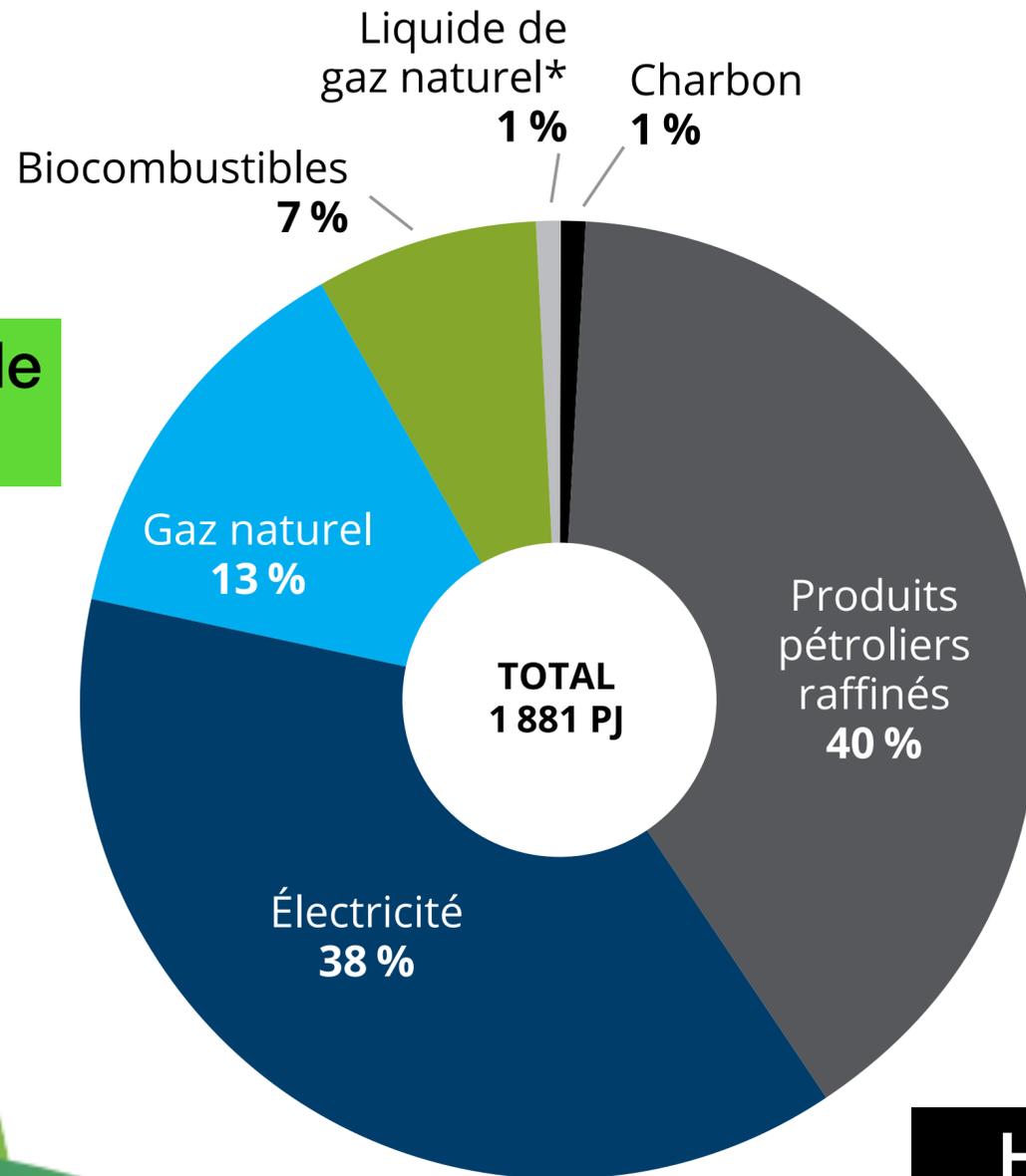
- Électricité primaire
- LGN
- Gaz naturel
- Pétrole
- Charbon

# L'énergie consommée au Canada



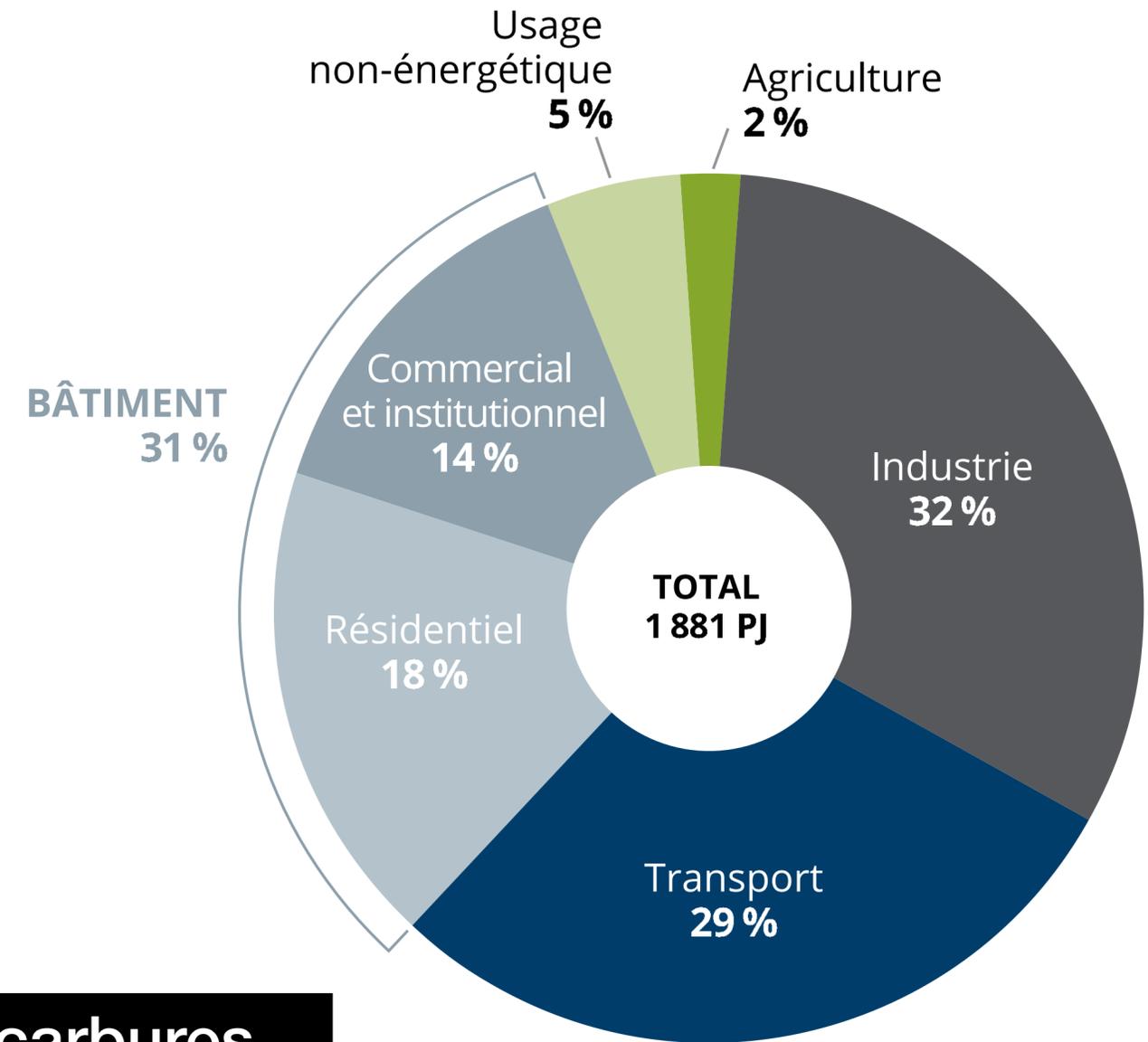
# L'énergie consommée au Québec

## A) Consommation par forme d'énergie



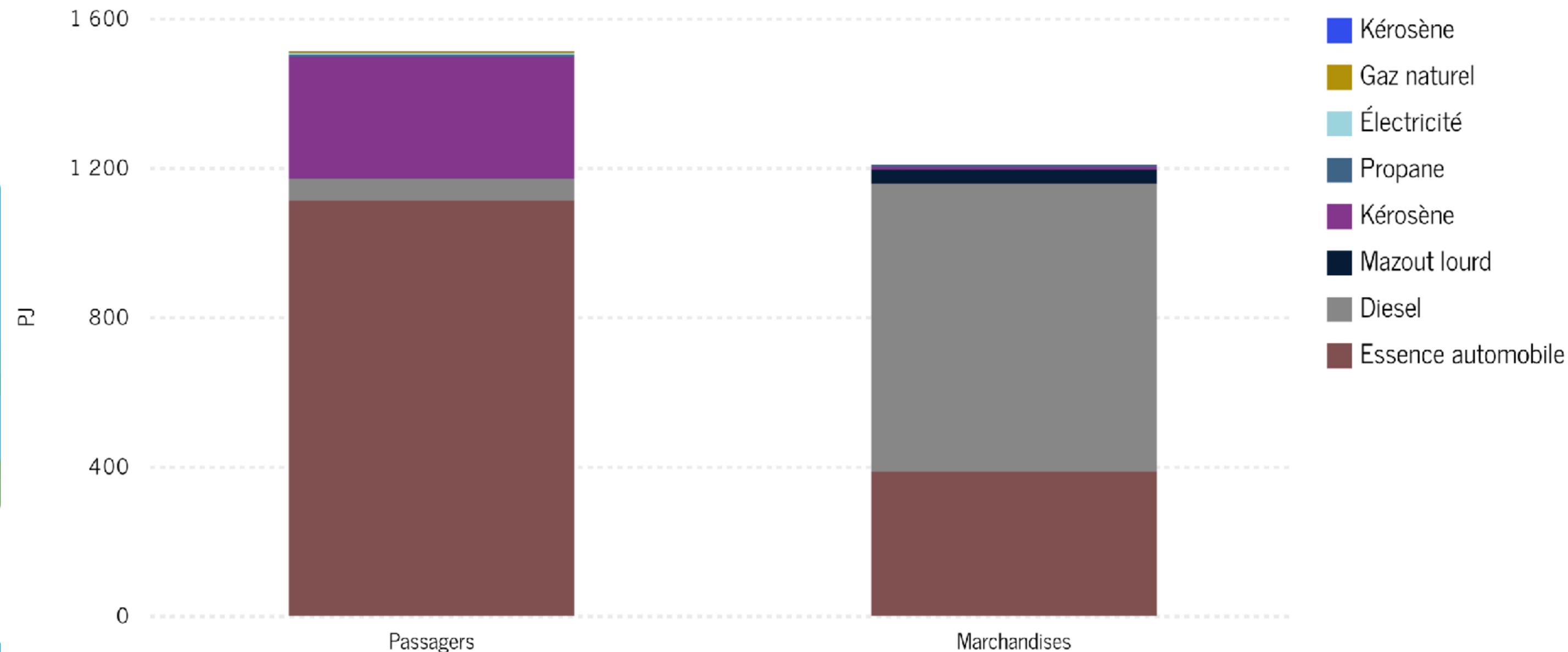
Faibles émissions de CO<sub>2</sub> : 45 %

## B) Consommation par secteur d'activité

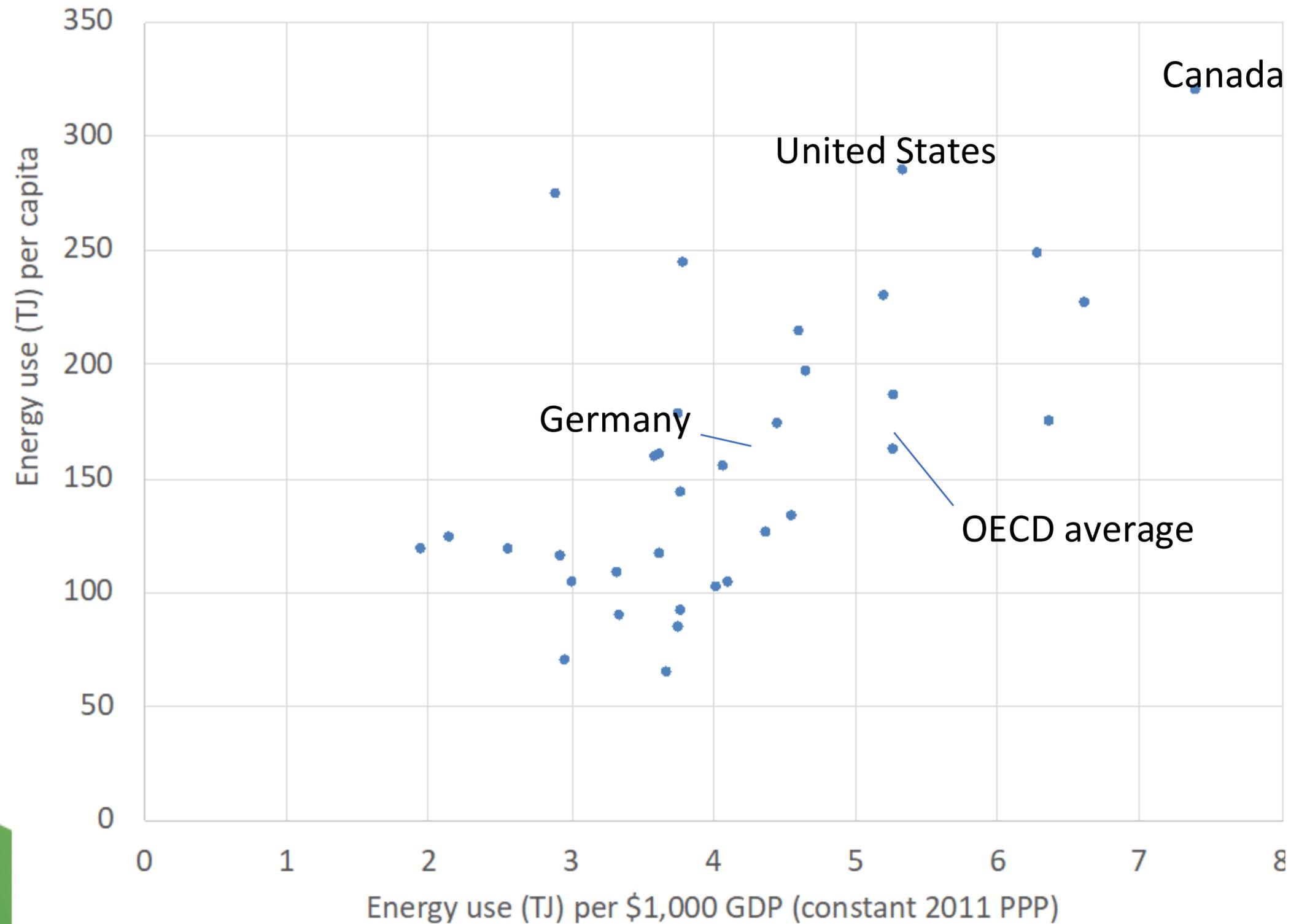


Hydrocarbures fossiles : 55 %

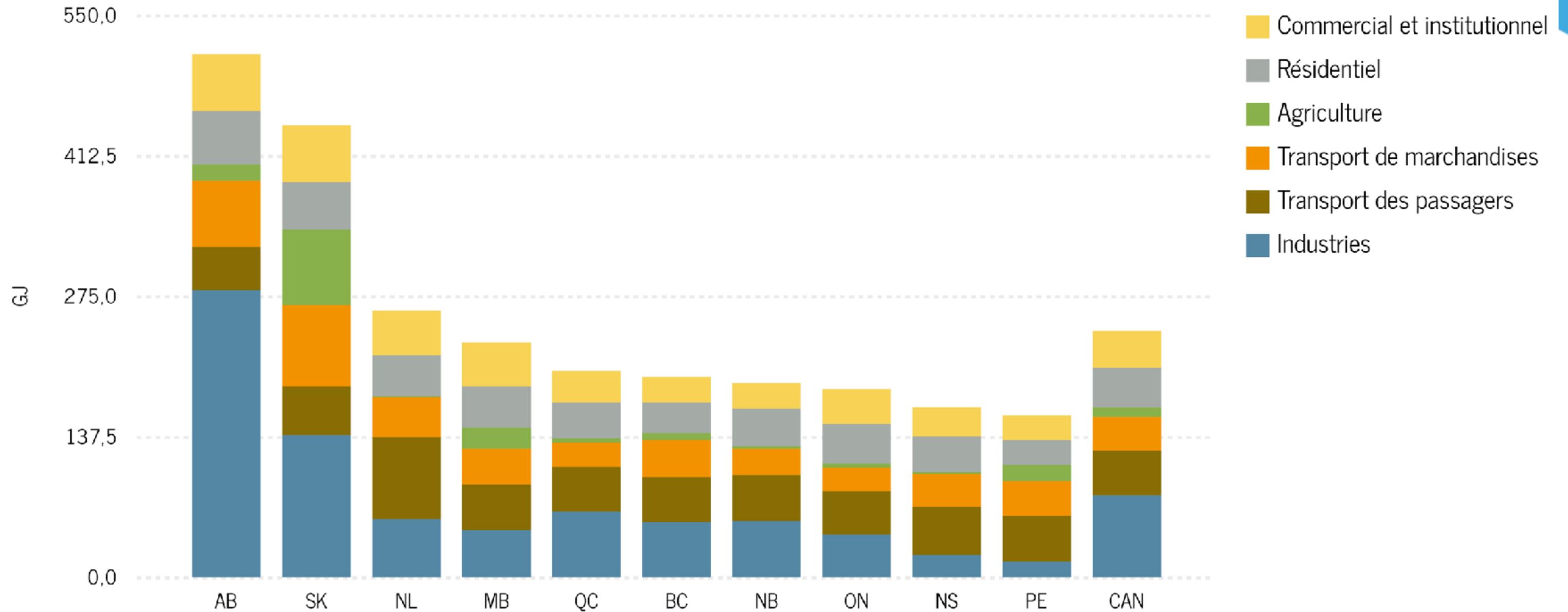
# Consommation d'énergie dans le secteur du transport par source (2018)



# Productivité énergétique



# Consommation par habitant/province





# **Gaz à effet de serre**

# Principaux objectifs et mesures au fédéral

## *Réduction des émissions de GES*

- Une diminution de 40-45 % d'ici 2030 par rapport à 2005 La carboneutralité d'ici 2050

## *Tarification du carbone*

- Une taxe fédérale sur les émissions provenant de la combustion de carburants et une tarification fondée sur le rendement pour les émetteurs industriels, sauf dans le cas où il existe un équivalent provincial (50 \$/t en 2022; 170 \$/t en 2030)

## *Objectifs en matière d'énergies renouvelables*

- 90 % de l'électricité provenant de sources non émettrices d'ici 2030
- 100 % d'énergie propre dans les bâtiments publics d'ici 2025

## *Abandon du charbon*

- Objectif atteint d'ici 2030 (avec quelques exceptions en raison d'accords d'équivalence)

## *Mesures incitatives pour l'utilisation de véhicules à faibles émissions et exigences concernant les carburants renouvelables*

- Des remises en espèces pour l'achat ou la location de véhicules à faibles émissions (allant de 2 500 \$ à 5 000 \$)
- Des exigences relatives à la part de carburants renouvelables dans les carburants (5 % pour l'essence, 2 % pour le diesel)
- Une norme sur les combustibles propres est prévue pour 2022

## *Autre*

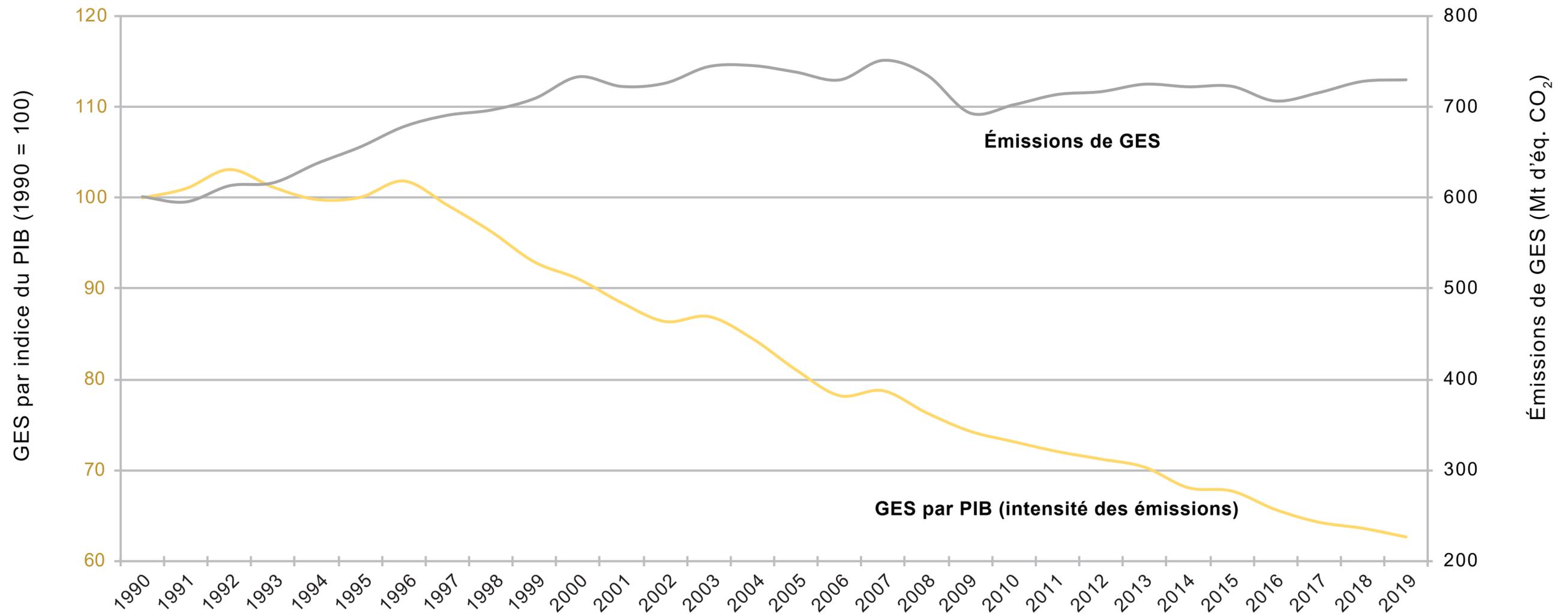
- Une réduction des émissions de méthane de 40 à 45 % d'ici 2025

# Une approche complexe

Province ou territoire	Système de tarif. prov./territ.	Système de tarif. fédéral	Système de tarif mixte	Notes
Colombie-Britannique	X			
Alberta			X	Utilisation du « filet de sécurité » fédéral pour la taxe sur le carbone et d'un système provincial pour les émetteurs industriels
Saskatchewan			X	Utilisation du « filet de sécurité » fédéral pour la taxe sur le carbone et d'un système mixte pour les émetteurs industriels
Manitoba		X		
Ontario		X		Application du système fédéral pour la taxe sur le carbone et pour les émetteurs industriels, bien que pour ces derniers un système provincial doit prochainement remplacer le système fédéral.
Québec	X			
Nouveau-Brunswick			X	Perception d'une taxe provinciale depuis avril 2020 et application du système fédéral pour les émetteurs industriels, bien que celui-ci doit être prochainement remplacé par un système provincial
Nouvelle-Écosse	X			
Île-du-Prince-Édouard			X	Perception d'une taxe provinciale et application du système fédéral pour les émetteurs industriels
Terre-Neuve-et-Labrador	X			
Yukon		X		
Territoires du Nord-Ouest	X			
Nunavut		X		

# GES

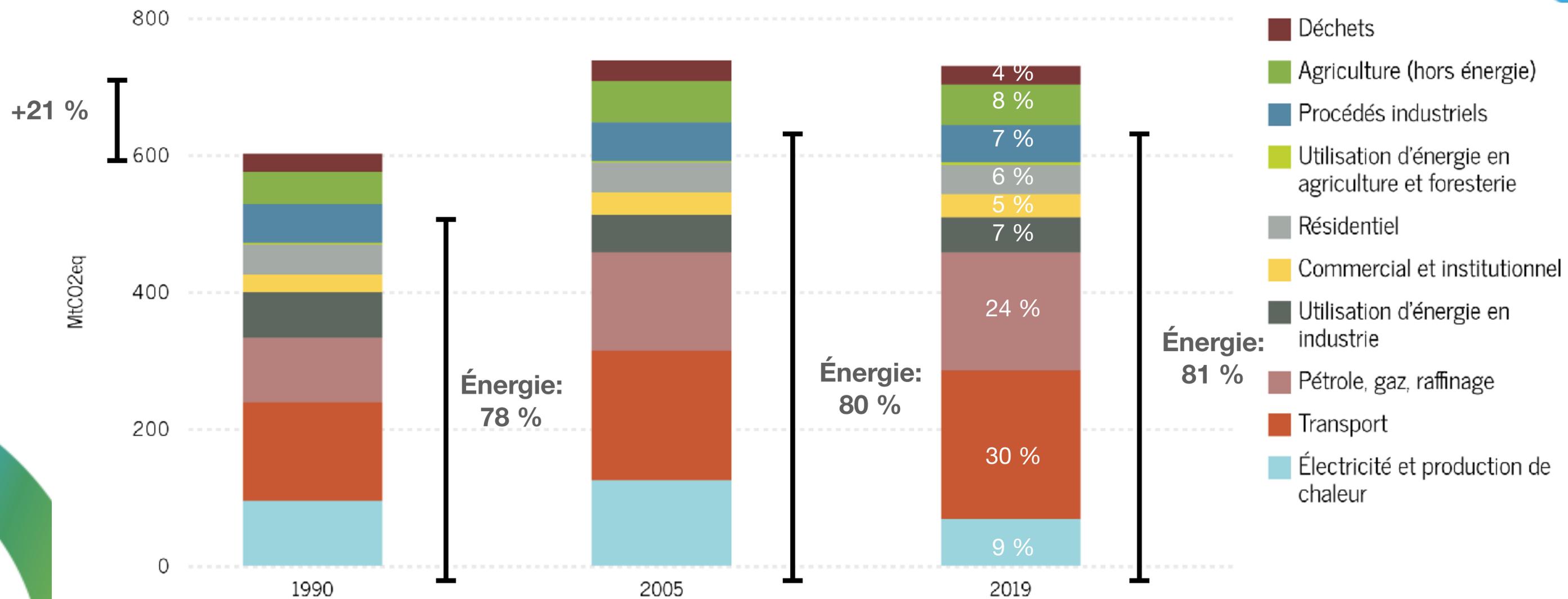
Figure S-1 **Émissions de GES et intensité indexée des émissions de GES du Canada (à l'exception du secteur Affectation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie)**



**RAPPORT D'INVENTAIRE NATIONAL  
1990-2019 : SOURCES ET PUIXS DE  
GAZ À EFFET DE SERRE AU CANADA**  
LA DÉCLARATION DU CANADA À LA CONVENTION-CADRE  
DES NATIONS UNIES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES



# Émissions de GES





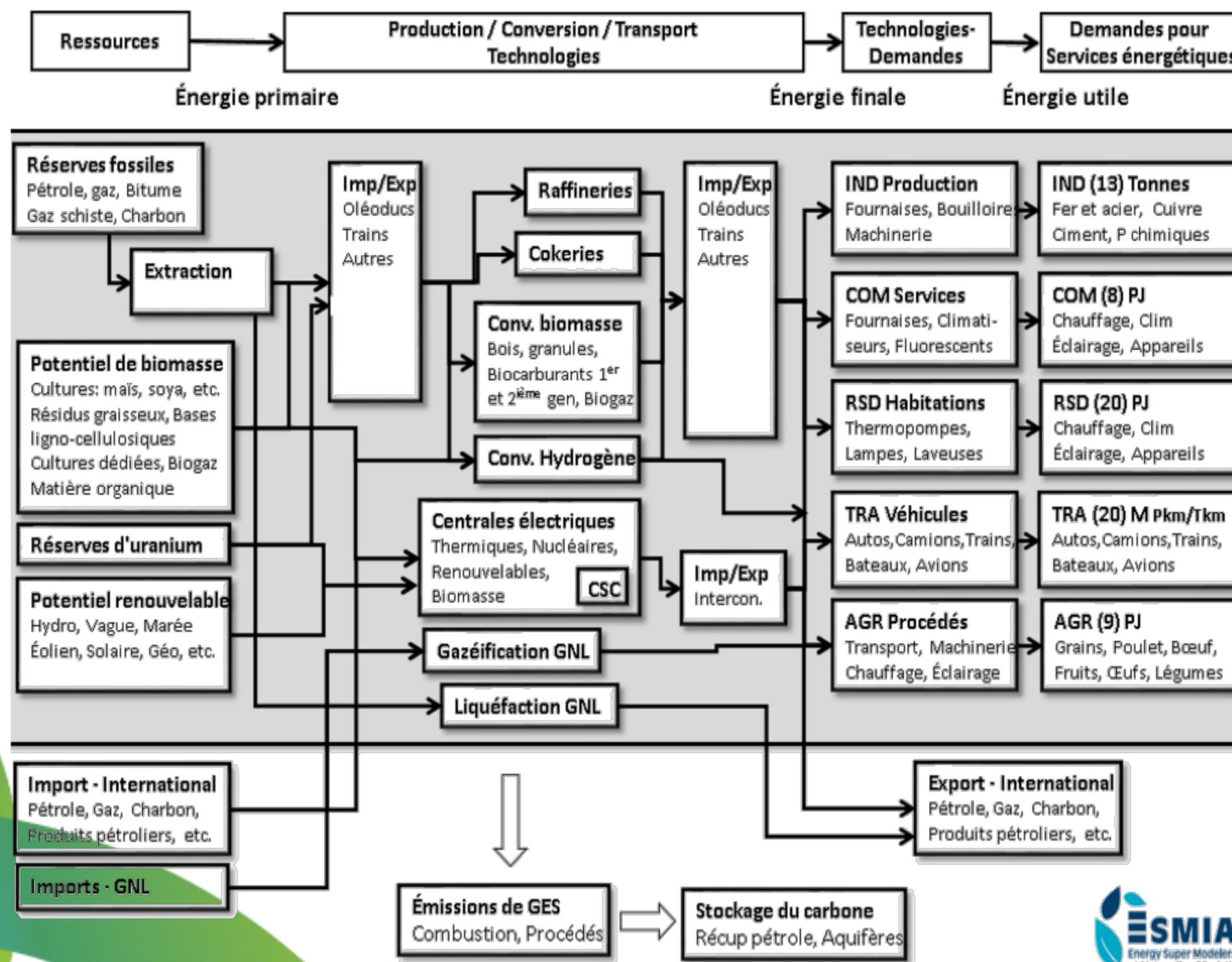
# Projections

# Types de modèles

Nature intrinsèque du modèle		
Directionnalité	Ascendant	Descendant
Évolution	Simulation	Optimisation
Structure	Économique	Technique

Questions étudiées	
Quel domaine d'applicabilité?	Global, sectoriel, environnement, faune, climat, météorologie, etc.
Intrants	Demande, évolution des prix, consommation, technologies?, température, etc.
Extrants	Consommation énergétique, GES, emplois?, impact environnementaux, etc.

# NATEM : modèle de la famille TIMES



## Avantages

- Représentation *systémique*
- Inclut maintenant l'ensemble des secteurs émissions économiques (incluant agriculture, déchets, etc.)
- *Description explicite des technologies*: effet de réglementations technologies, renouvellement des équipements
- Coûts en capital, d'exploitation et en carburant, ce qui permet *une analyse des solutions de moindre coût*
- Résultats disponibles au *niveau provincial*

# Types de modèles

Nature intrinsèque du modèle		
Directionnalité	Ascendant	Descendant
Évolution	Simulation	Optimisation
Structure	Économique	Technique

Questions étudiées	
Quel domaine d'applicabilité?	Énergie et GES
Intrants	PIB, population, demande de services, prix de l'énergie, technologie et évolution
Extrants	Choix technologiques, consommation et nature de l'énergie, GES, coût marginal

## Données:

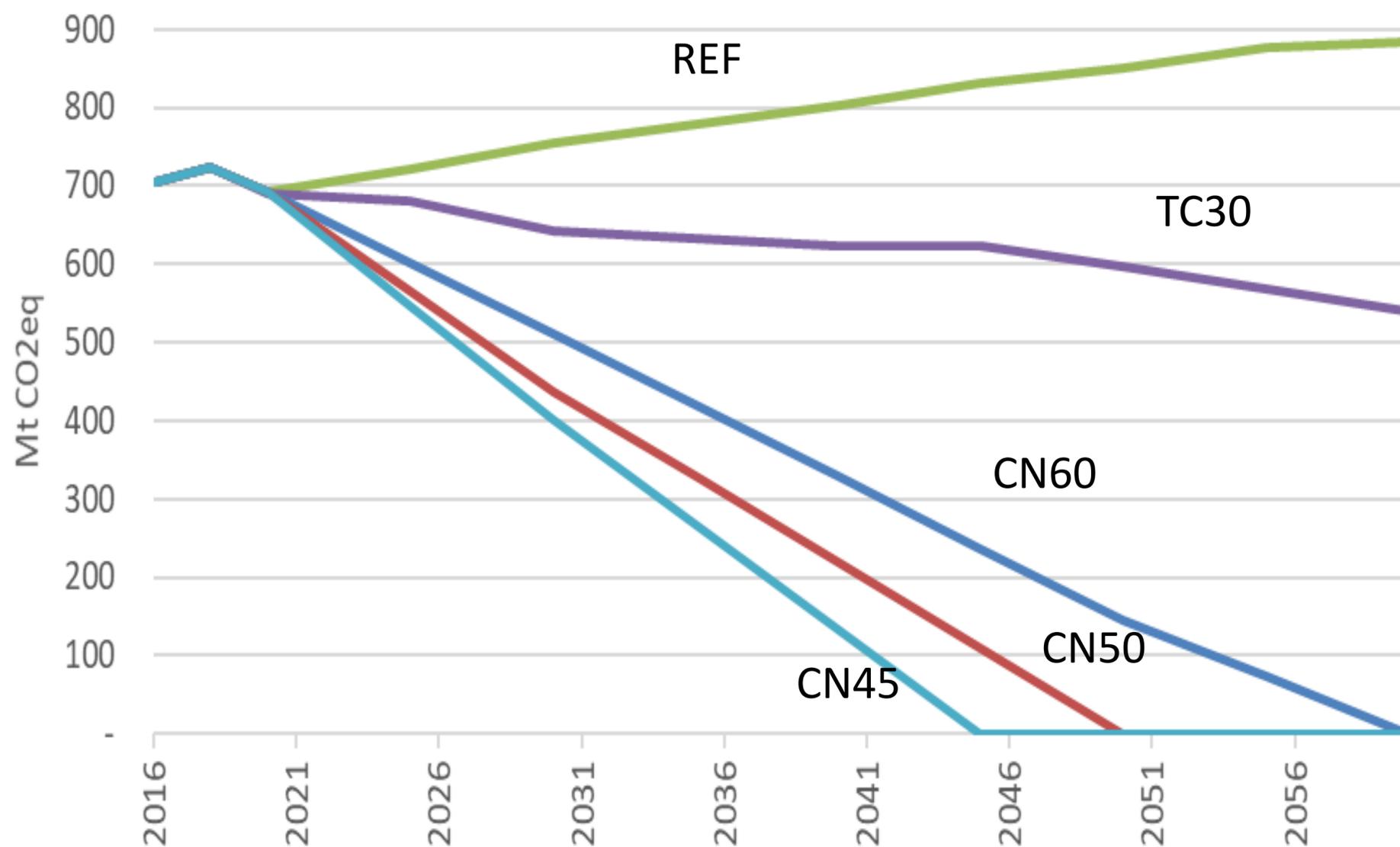
Statistiques Canada, Régie de l'énergie du Canada, MERN, Agriculture, ECCC, MELCC, littérature scientifique, etc.

Avec des trous, des incohérences, des données confidentielles, etc.!

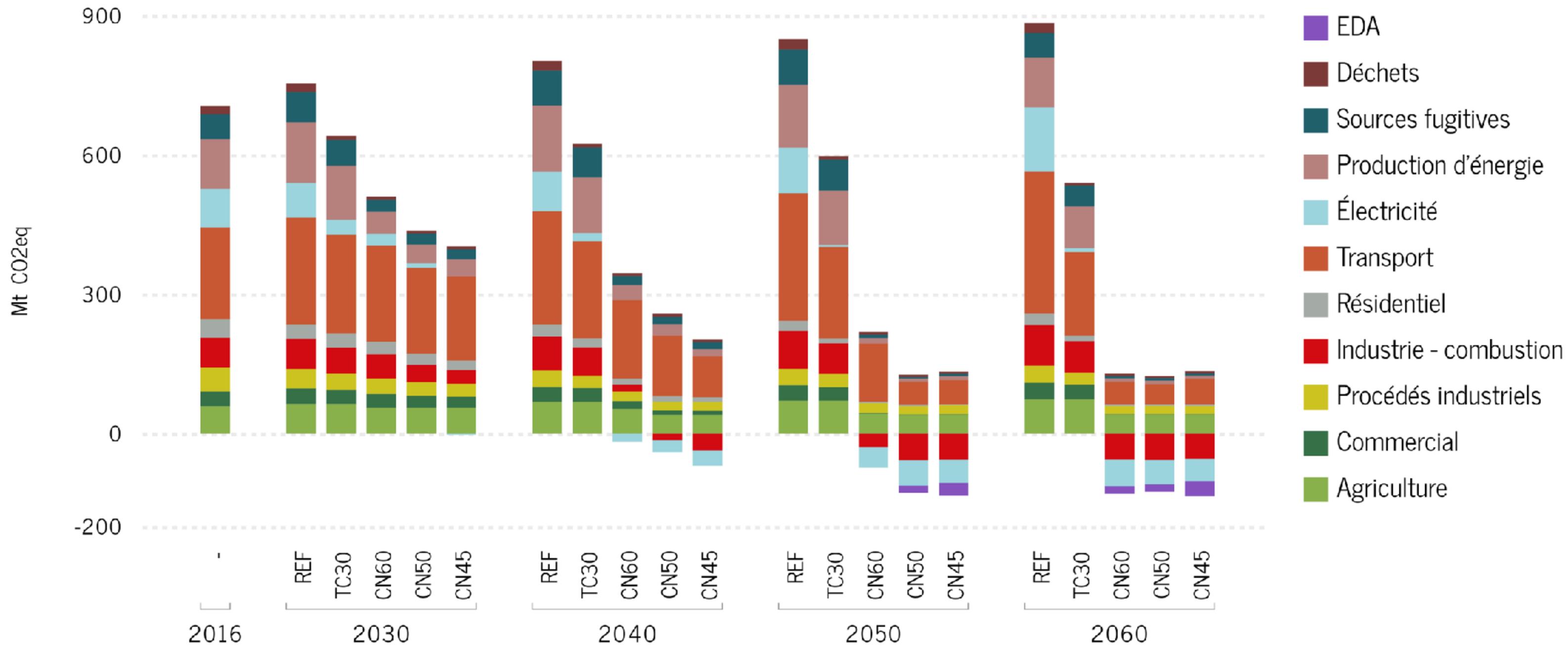
# Scénarios

<b>REF</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aucune contrainte de réduction des GES</li> <li>• aligné avec le scénario de référence du rapport Avenir énergétique du Canada en 2020 de la REC</li> <li>• inclut les <b>politiques de GES déjà en place</b></li> </ul>
<b>TC30</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• REF + augmentation vers <b>170\$/tCO<sub>2</sub>e</b> en 2030</li> <li>• abaisse le <b>taux de rendement minimal</b></li> </ul>
<b>CN60</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• impose la <b>carboneutralité</b> au pays pour <b>2060</b></li> <li>• tous les CN sont alignés avec le scénario Evolution de la REC</li> <li>• cible de 30% pour 2030 (2005)</li> </ul>
<b>CN50</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• impose la <b>carboneutralité</b> au pays pour <b>2050</b></li> <li>• cible de 40% pour 2030 (2005)</li> <li>• <b>correspond aux cibles actuelles du gouvernement</b></li> </ul>
<b>CN45</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• impose la <b>carboneutralité</b> au pays pour <b>2045</b></li> <li>• cible de 45 % pour 2030 (2005)</li> </ul>

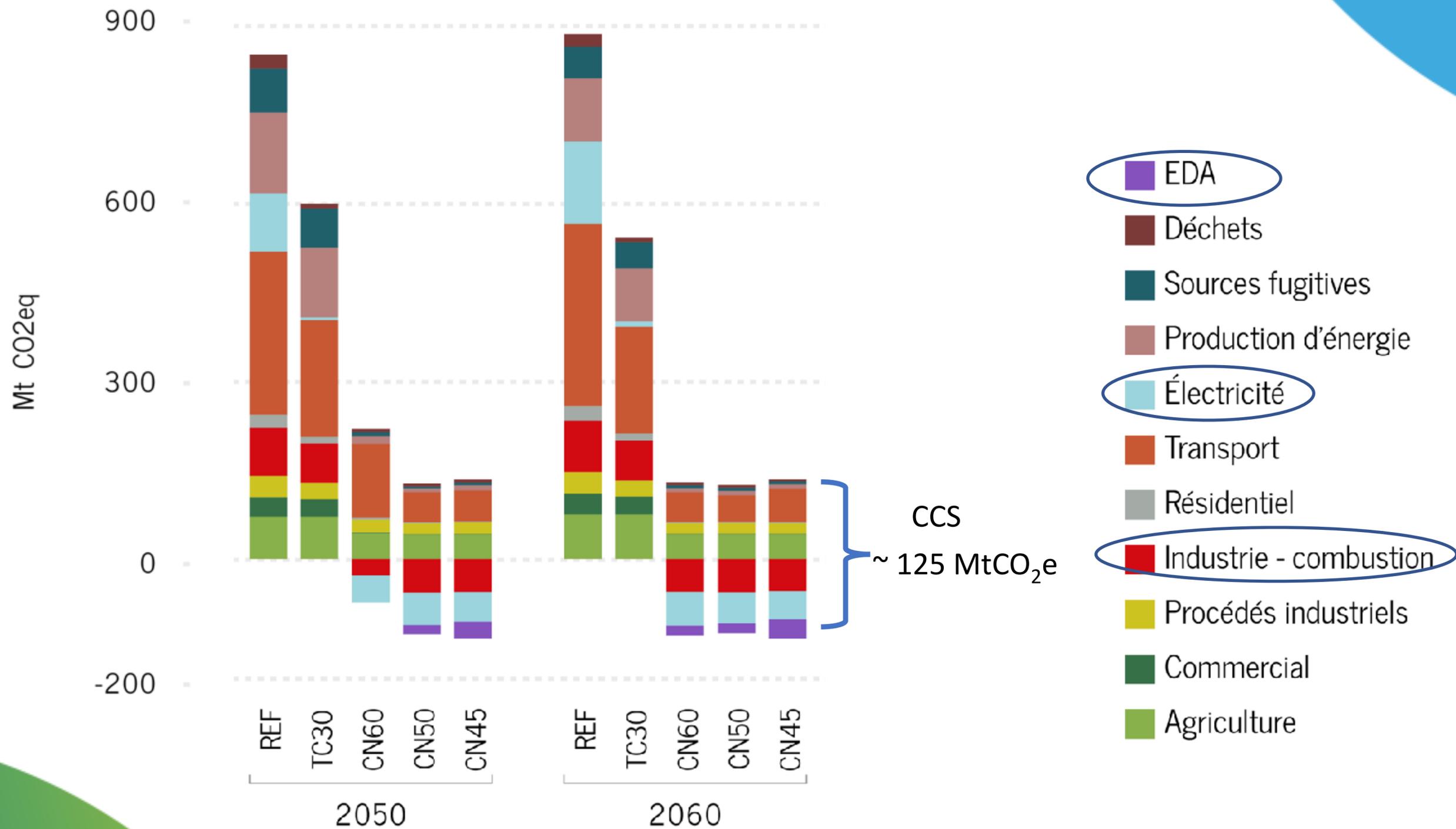
Figure – Trajectoires des émissions selon le scénario



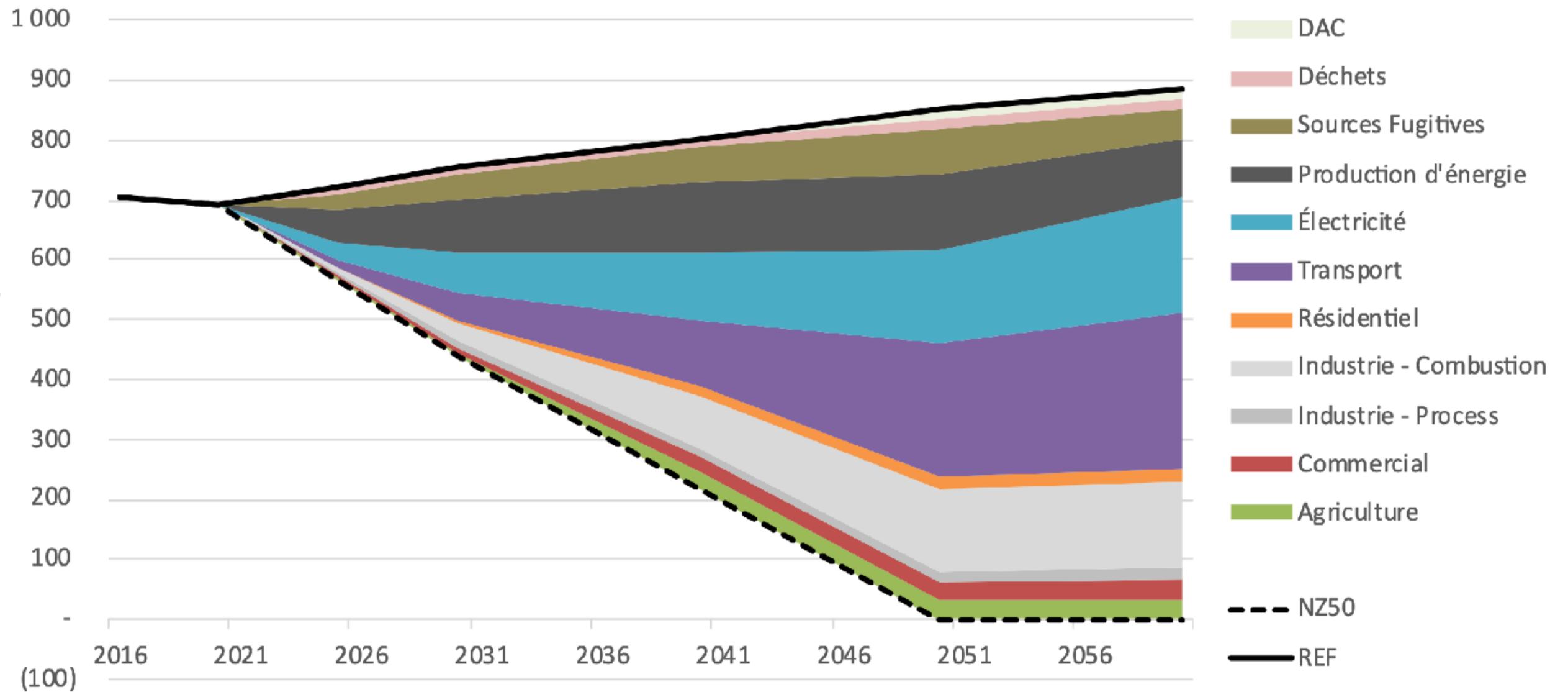
# Émissions GES totales



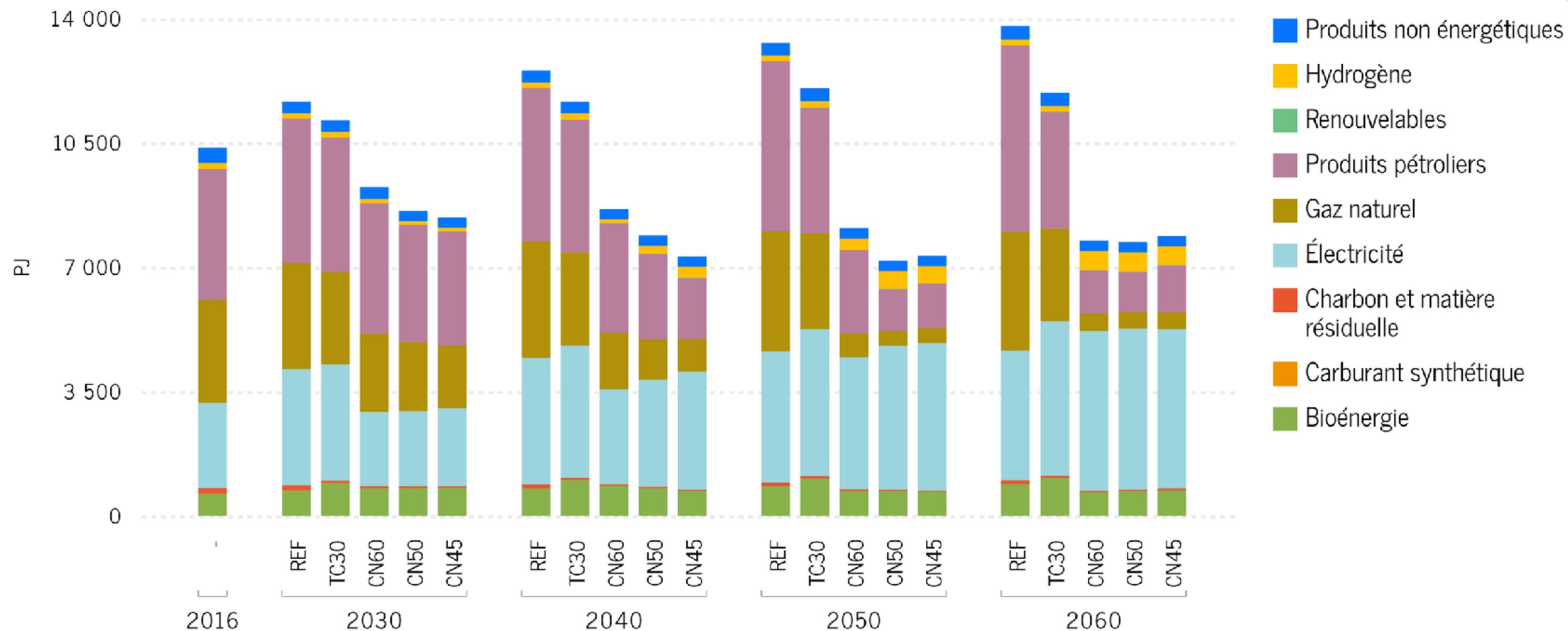
# Émissions GES totales : séquestration



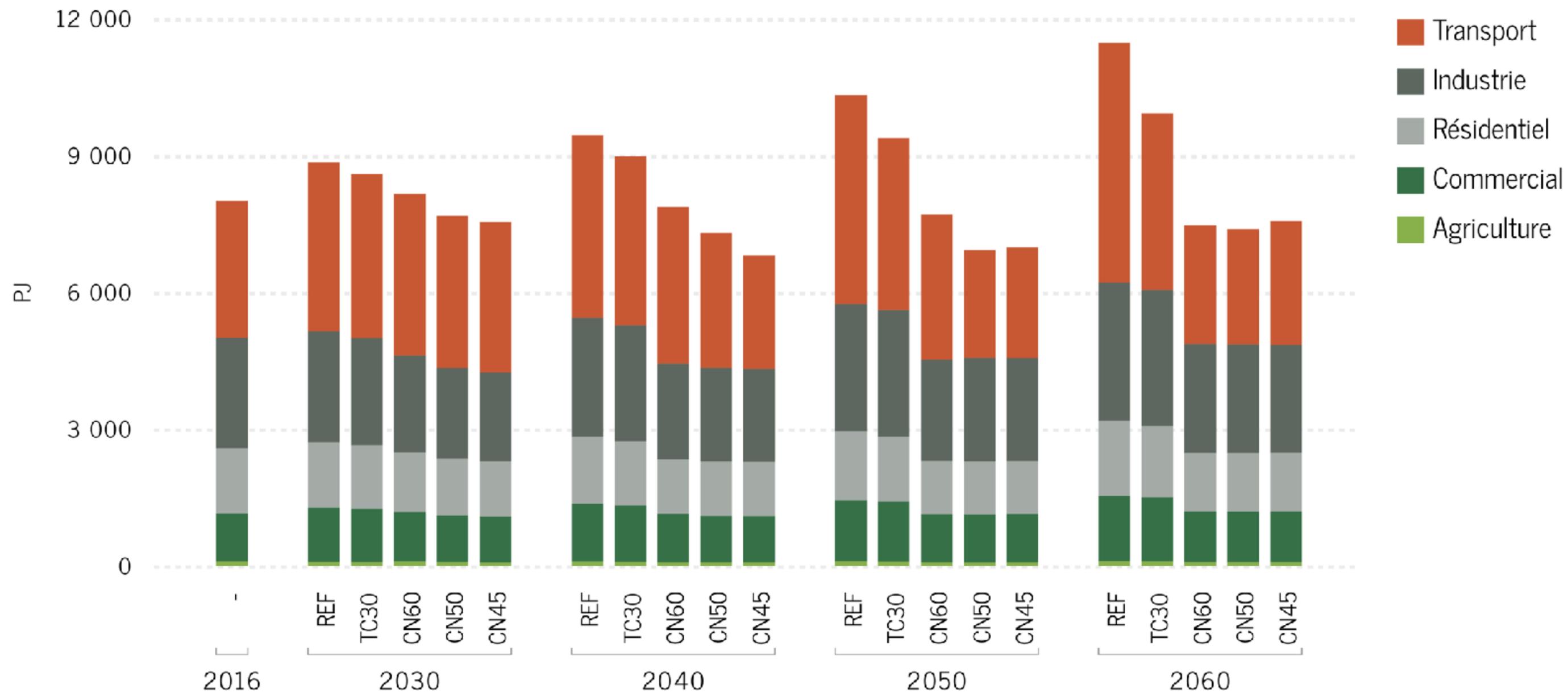
# Réductions sectorielles - NZ50



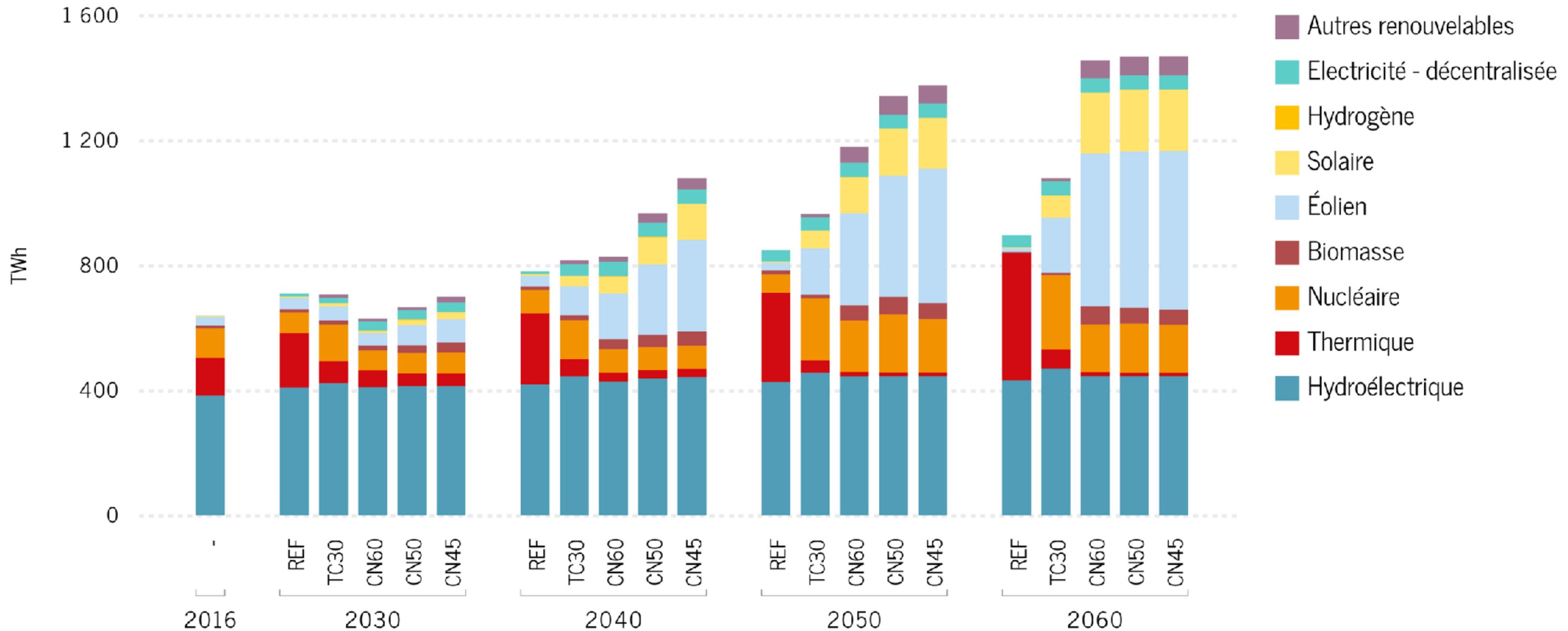
# Consommation finale par source



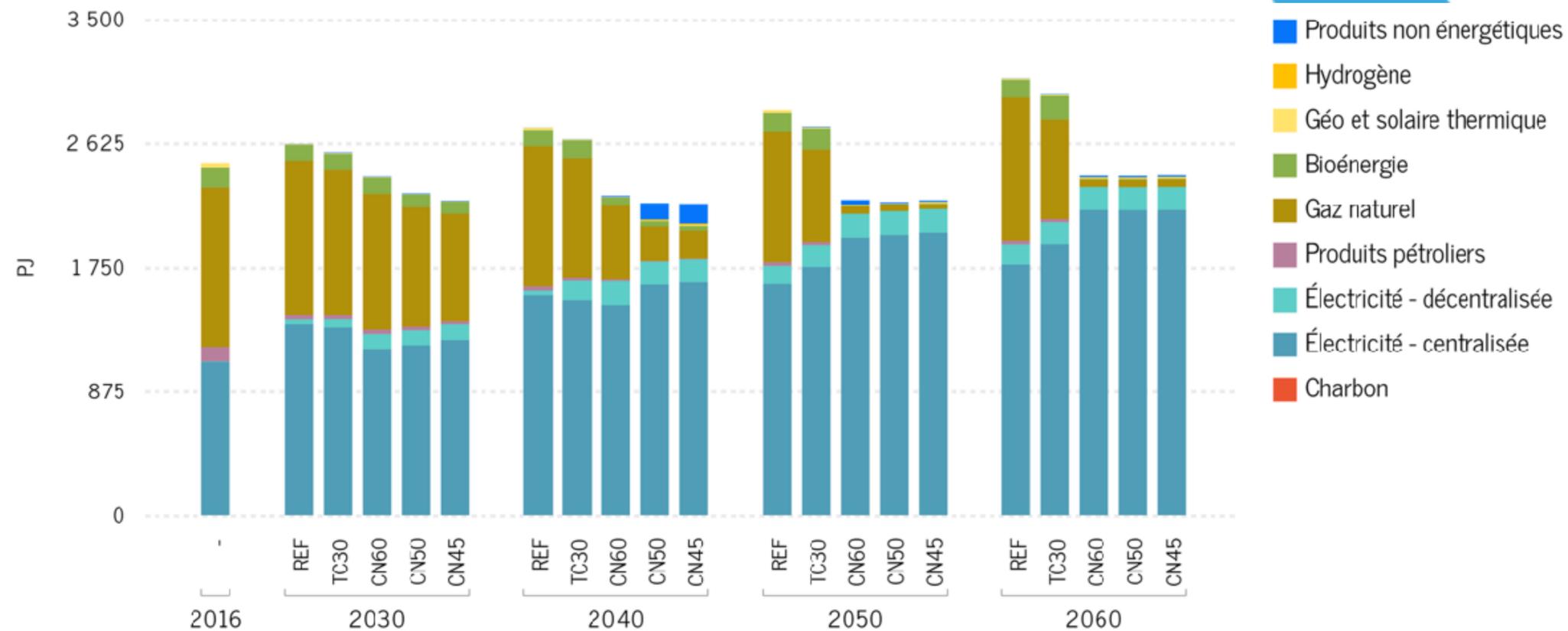
# Consommation finale par secteur



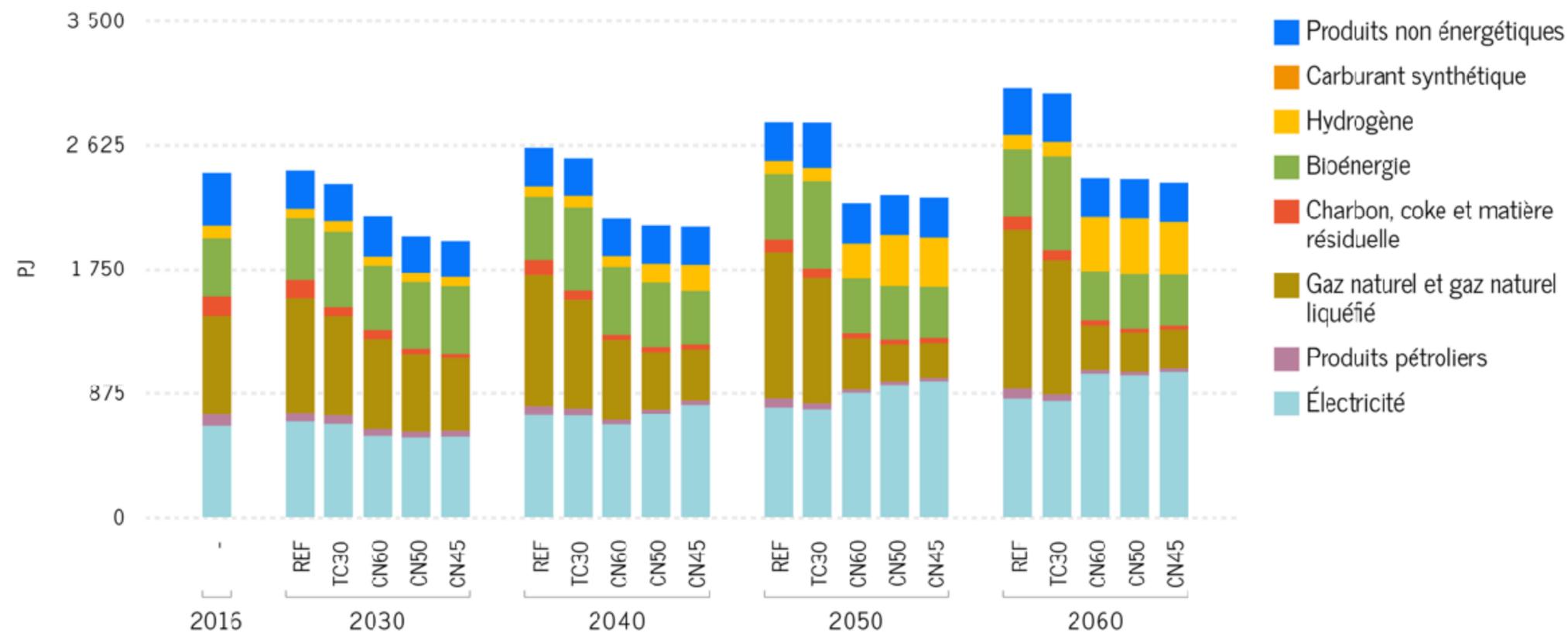
# Production d'électricité par source



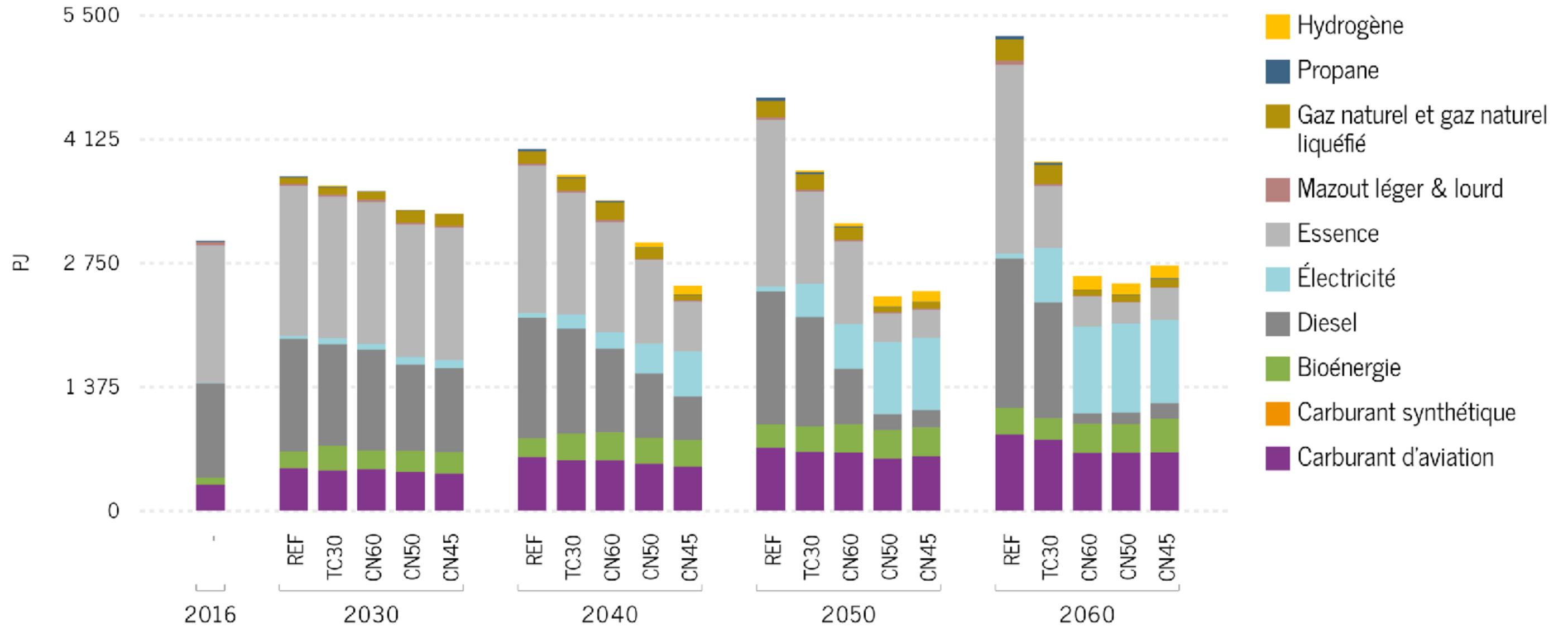
## Consommation secteur bâtiment (résidentiel et commercial)



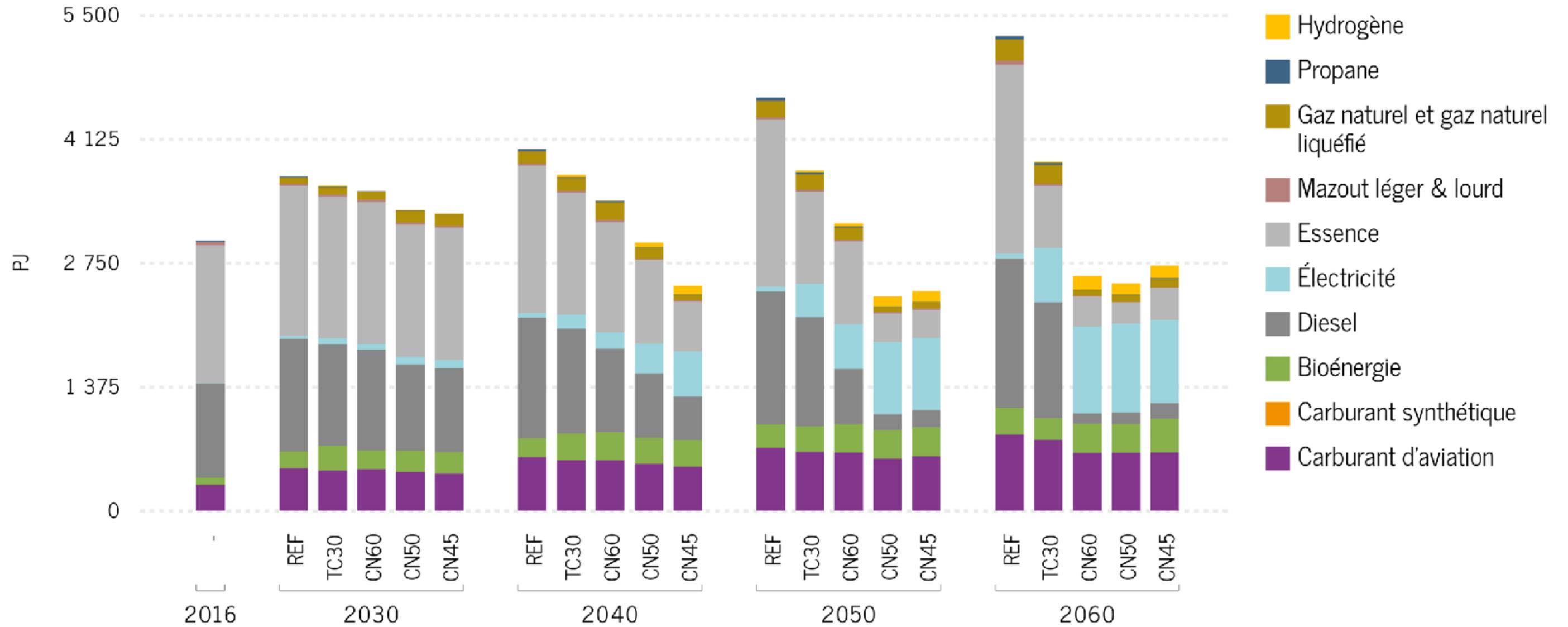
## Consommation industrie



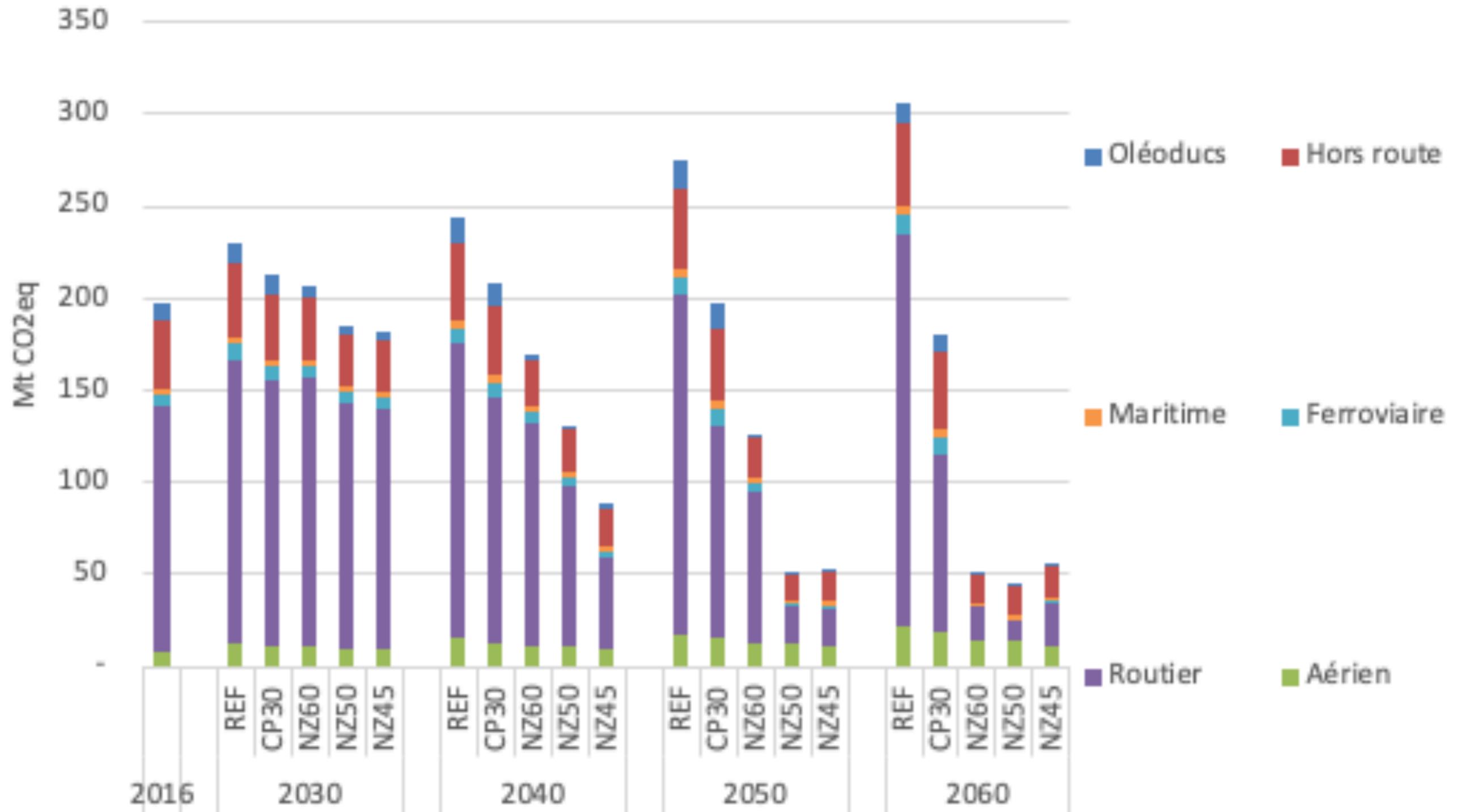
## Consommation transports



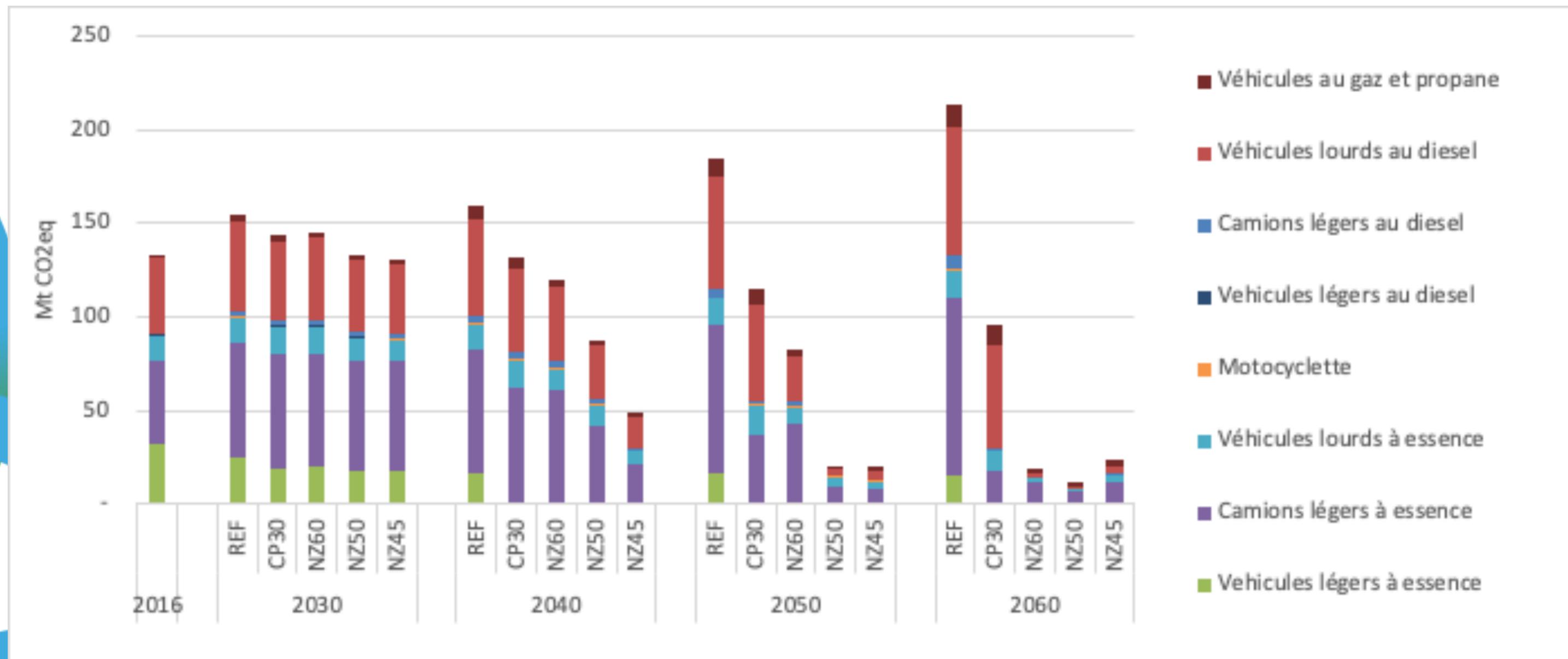
## Consommation transports



# Émissions secteur des transports



# Transport routier



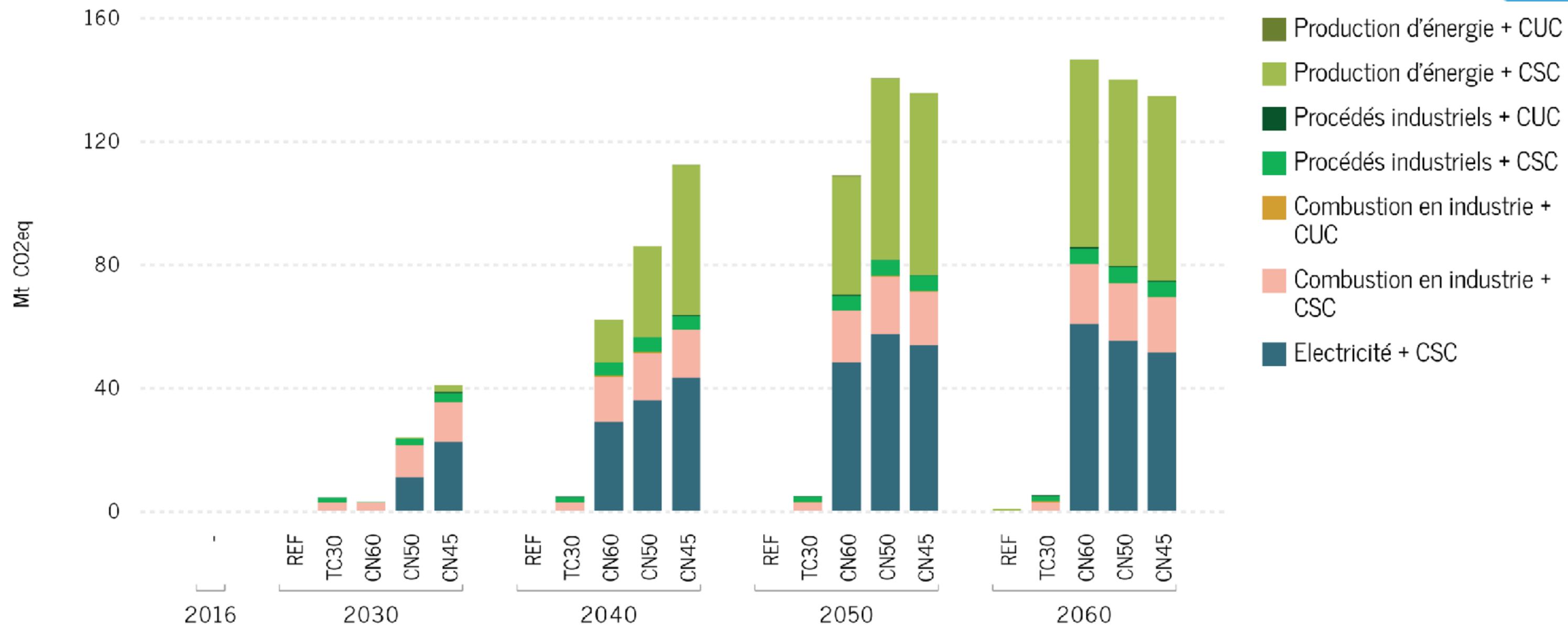


# **Observations et Conclusions**

# Observations: la carboneutralité change tout!

- Cibler les réductions partielles sont incompatibles avec l'objectif
- La carboneutralité exige de cibler d'abord les réductions avant la capture et séquestration de carbone
- Si l'efficacité et la productivité énergétiques jouent un rôle important dans la transformation des systèmes, ils ne peuvent constituer la base de la transition
  - des choix moins productifs, mais polluants seront nécessaires
  - L'énergie renouvelable à peu de frais est disponible
- Les systèmes énergétiques vont continuer à se transformer après la carboneutralité ; rien ne sert de chercher la perfection

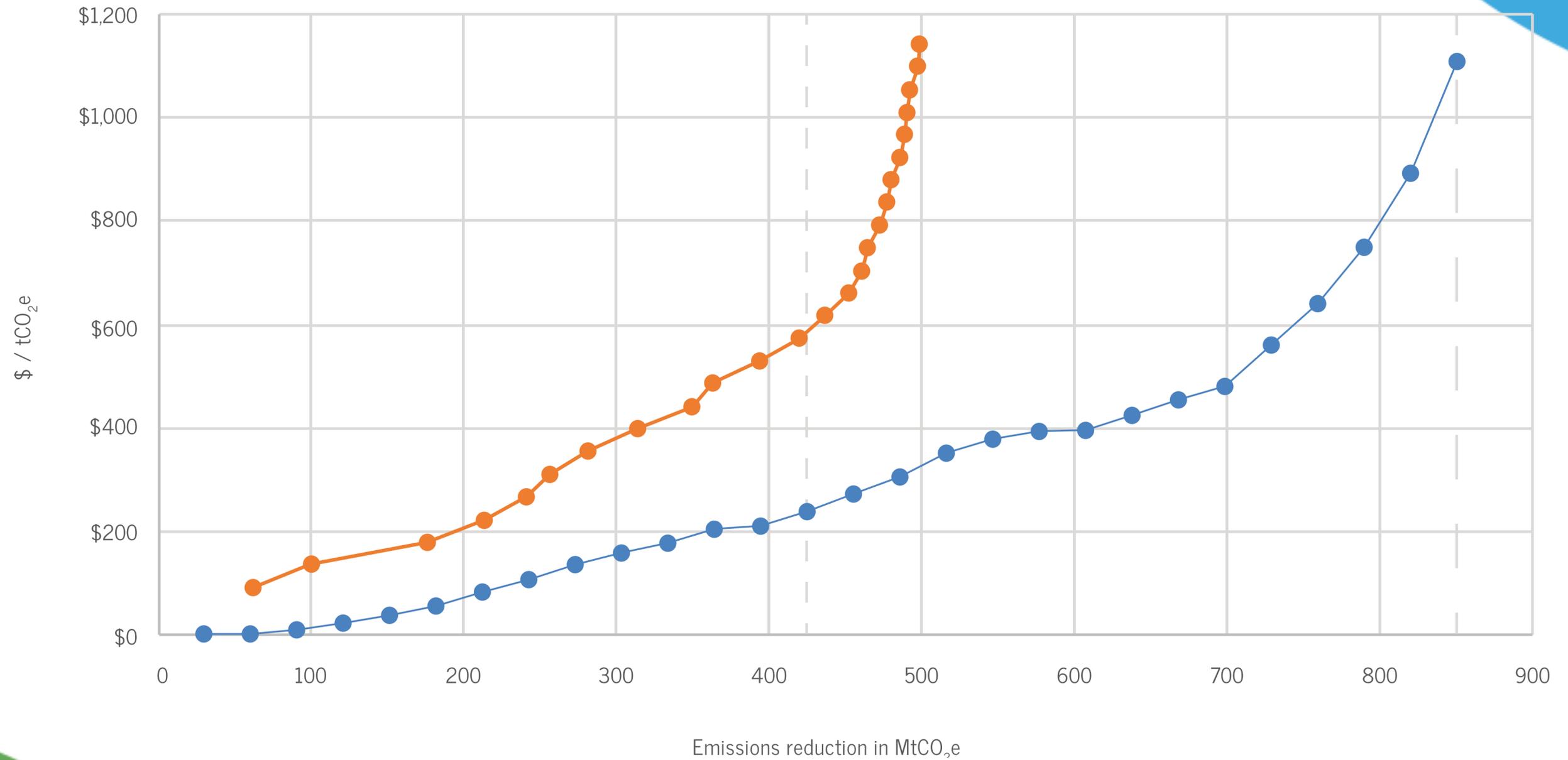
# Capture, séquestration ou utilisation du CO<sub>2</sub>



# Observations: il faut adopter des approches plus efficaces

- Atteindre la carboneutralité coûtera beaucoup moins cher que ce qu'on peut projeter aujourd'hui
- L'atteinte des objectifs exige une direction forte et des choix immédiats
- Pour le Canada, la façon la plus efficace d'atteindre les objectifs de 2030 exige de réduire de manière draconienne les émissions de son secteur gaz et pétrole
- Puisque les émissions directes des citoyens comptent pour seulement 20 % des émissions du pays, il faut mettre à contribution rapidement, outre l'industrie pétrolière et gazière, les industries lourdes, le secteur commercial et le secteur électrique
- Le secteur des transports est particulièrement difficile et lent à décarboner d'un point de vue purement technologique

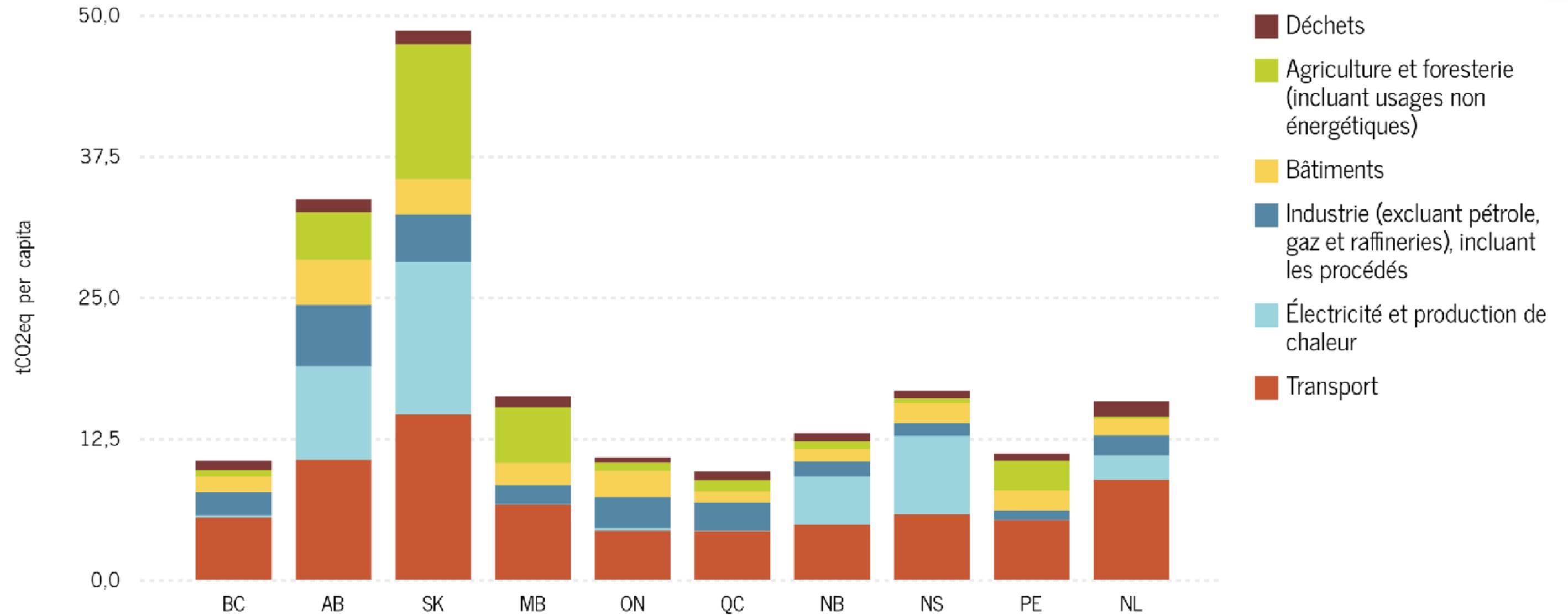
# Évolution du coût marginal



# Observations: il faut adopter des approches plus efficaces

- Atteindre la carboneutralité coûtera beaucoup moins cher que ce qu'on peut projeter aujourd'hui
- L'atteinte des objectifs exige une direction forte et des choix immédiats
- Pour le Canada, la façon la plus efficace d'atteindre les objectifs de 2030 exige de réduire de manière draconienne les émissions de son secteur gaz et pétrole
- Puisque les émissions directes des citoyens comptent pour seulement 20 % des émissions du pays, il faut mettre à contribution rapidement, outre l'industrie pétrolière et gazière, les industries lourdes, le secteur commercial et le secteur électrique
- Le secteur des transports est particulièrement difficile et lent à décarboner d'un point de vue purement technologique

# Émissions par hab/province sans la production d'énergie



# Observations: il faut adopter des approches plus efficaces

- Atteindre la carboneutralité coûtera beaucoup moins cher que ce qu'on peut projeter aujourd'hui
- L'atteinte des objectifs exige une direction forte et des choix immédiats
- Pour le Canada, la façon la plus efficace d'atteindre les objectifs de 2030 exige de réduire de manière draconienne les émissions de son secteur gaz et pétrole
- Puisque les émissions directes des citoyens comptent pour seulement 20 % des émissions du pays, il faut mettre à contribution rapidement, outre l'industrie pétrolière et gazière, les industries lourdes, le secteur commercial et le secteur électrique
- Le secteur des transports est particulièrement difficile et lent à décarboner d'un point de vue purement technologique

# Canada: tous les secteurs ne sont pas égaux

	2016	2030			2050		
	MtCO <sub>2</sub>	TC30	CN60	CN50	TC30	CN60	CN50
Réduction pr2005 (730 Mt.eq.CO <sub>2</sub> )		-9 %	-28 %	-38 %	-15 %	-79 %	-100 %
Émissions totales (Mt.eq.CO <sub>2</sub> )	705	642	511	438	598	146	0
<b>SECTEURS CONTRIBUANT</b>							
Électricité	82	-60 %	-70 %	-89 %	-94 %	-155 %	-167 %
Déchets	17	-52 %	-63 %	-63 %	-58 %	-64 %	-68 %
Gaz et pétrole (incl. émissions fugitives)	161	7 %	-54 %	-60 %	14 %	-88 %	-94 %
Résidentiel	41	-27 %	-33 %	-41 %	-74 %	-93 %	-95 %
<b>SECTEURS DIFFICILES</b>							
Industrie	116	-22 %	-26 %	-42 %	-18 %	-106 %	-134 %
Commercial	31	-3 %	-8 %	-21 %	-9 %	-94 %	-98 %
Agriculture	60	8 %	-5 %	-5 %	20 %	-27 %	-31 %
Transports	197	8 %	5 %	-6 %	0 %	-36 %	-74 %

Part directe des citoyens : 22 % des émissions totales

Louis Beaumier  
Simon Langlois-Bertrand  
Normand Mousseau



Olivier Bahn

Marie Pied  
Kathleen Vaillancourt



HORIZON  
2060  
Perspectives  
énergétiques  
canadiennes  
2021





**Merci!**