



Mobilité et vecteurs énergétiques : quelles orientations ?

Edi Assoumou

Mines ParisTech-PSL

Chaire Modélisation Prospective au Service du Développement Durable

14 Dec2016 - Journée Chaire MPDD - GRTgaz 2016

Le secteur des transports: une priorité pour la réduction des émissions de CO2

- 1000 milliards de voyageurs-km et 339 milliards de tonnes-km en 2014

Source: Chiffres clés du transport 2016

En Mt CO₂éq.

	1990	2000	2005	2011	2012	2012/1990 (%)
Aérien	4,3	6,2	5,0	5,0	5,1	+ 19
Routier	114,6	131,3	133,4	126,7	125,1	+ 9
Ferroviaire	1,1	0,8	0,6	0,5	0,5	- 51
Maritime et fluvial	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	+ 17
Autre transport	0,2	0,5	0,9	0,5	0,5	+ 150
Total	121,2	140,0	141,2	133,9	132,5	+ 9

Source: Chiffres clés du climat France et Monde Édition 2015

- Un secteur qui compte pour 27% des émissions et qui reste marqué par une prépondérance du transport routier et du véhicule particulier
- Quels choix énergétiques à l'horizon 2050?

Analyse prospective à l'aide du modèle TIMES-FR

$$\frac{1}{(1+\alpha)^{n(t-1)}} \sum_{i \in TCH} in$$

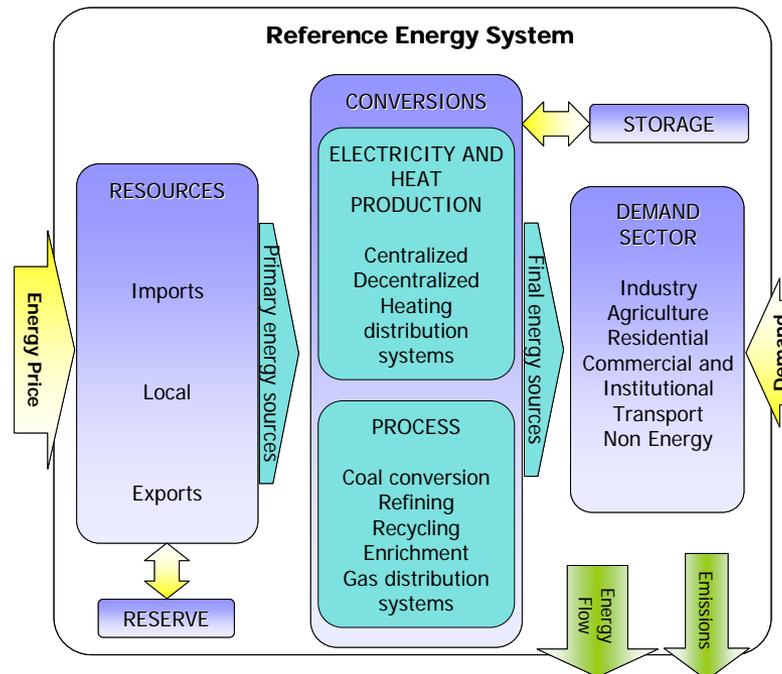
$$\times \left(\sum_{i \in TCH} fixom_i(t) \right)$$

$$+ \sum_{i \in ELA} \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} var$$

$$+ \sum_{k \in ENC} \sum_s com$$

$$+ \sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y}$$

$$- \sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y}$$



- Allocation optimale des technologies par minimisation du coût total actualisé pour chaque jeu de contraintes
- Ici horizon 2050: pas de temps de 5 ans et 12 sous-périodes
- Multisectoriel

Analyse prospective à l'aide du modèle TIMES-FR

$$\frac{1}{(1 + \alpha)^{n(t-1)}} \sum_{i \in TCH} in$$

$$\times \left(\sum_{i \in TCH} fixom_i(t) \right)$$

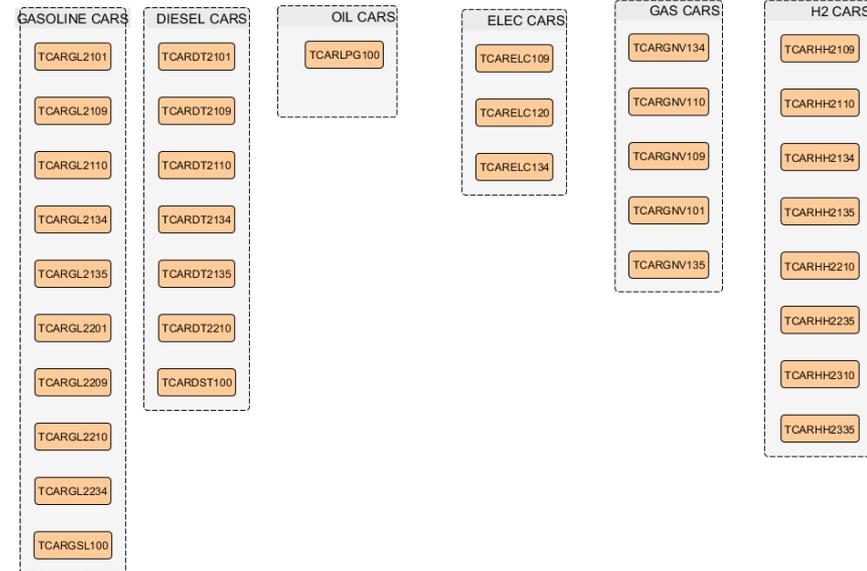
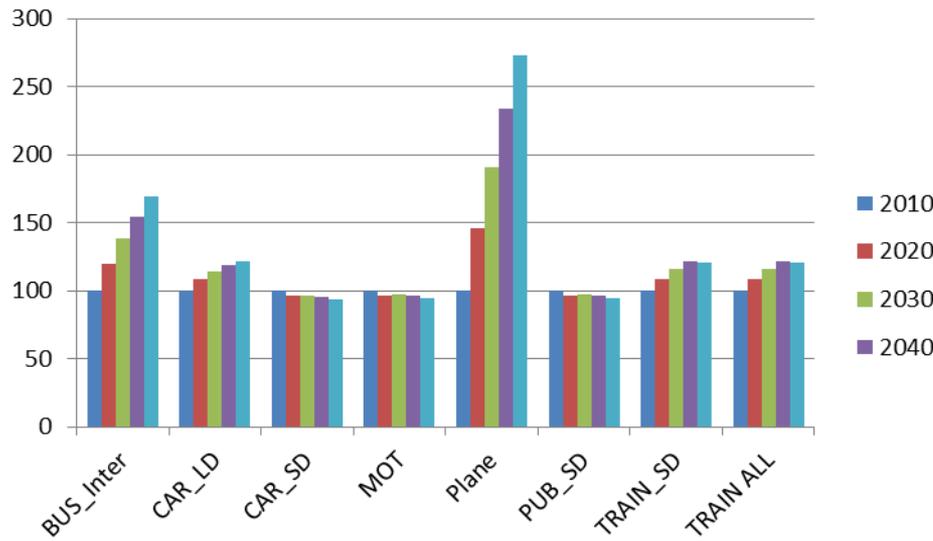
$$+ \sum_{i \in EEA} \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} var_i$$

$$+ \sum_{k \in ENC} \sum_s cost_s$$

$$+ \dots$$

Satisfaire une demande de mobilité

A partir d'un panier de technologies



hypothèse de travail: mode de vie B «individualiste»

Source: EUCAR CONCAWE rapports « Tank to wheel », ETSAP

Estimation probabiliste des incertitudes pour 2 variables

- Monte Carlo: 1000 tirages

Coût des VP: tirage uniforme

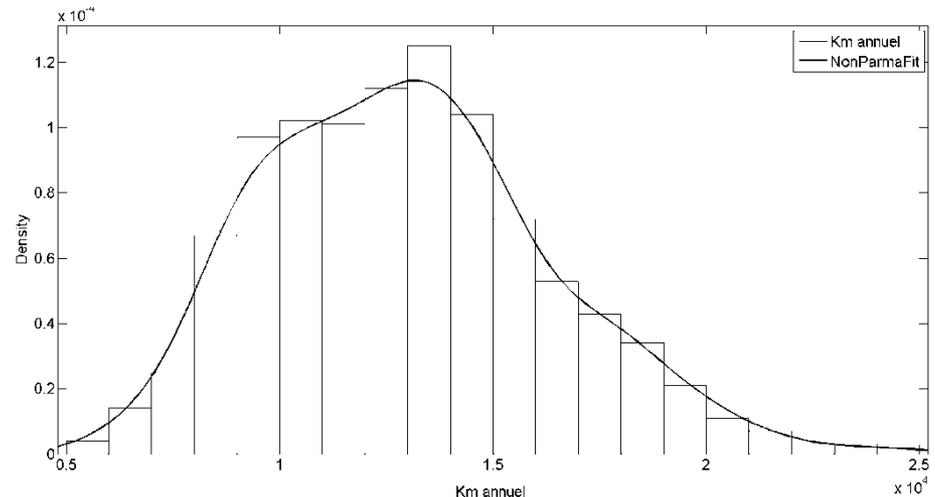
Investissement (€)			
Min	Moyen	Max	
	13500	21200	28900

Intervalle de prix de la gamme économique inférieure à partir du véhicule le plus vendu en France (Clio IV)

Km annuel moyen (13000km)

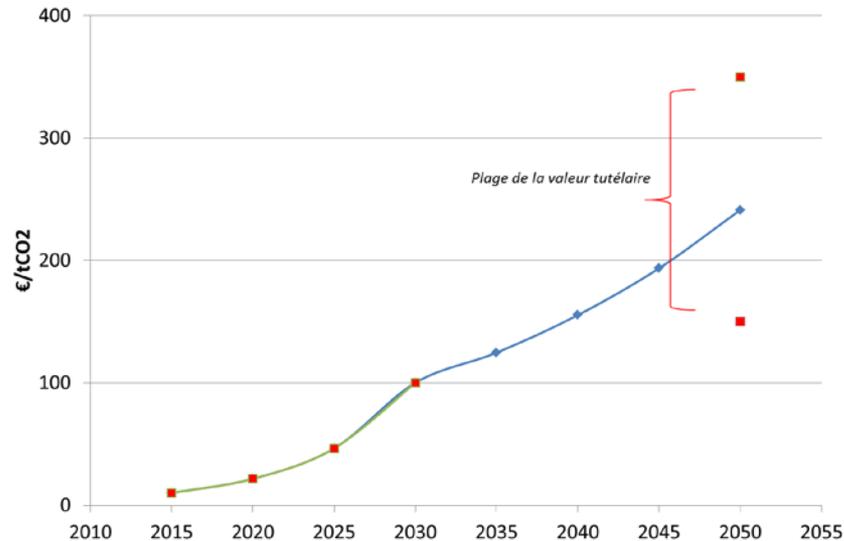
Etape 1: tirage d'une gamme de distance

Etape 2: tirage suivant une loi normale

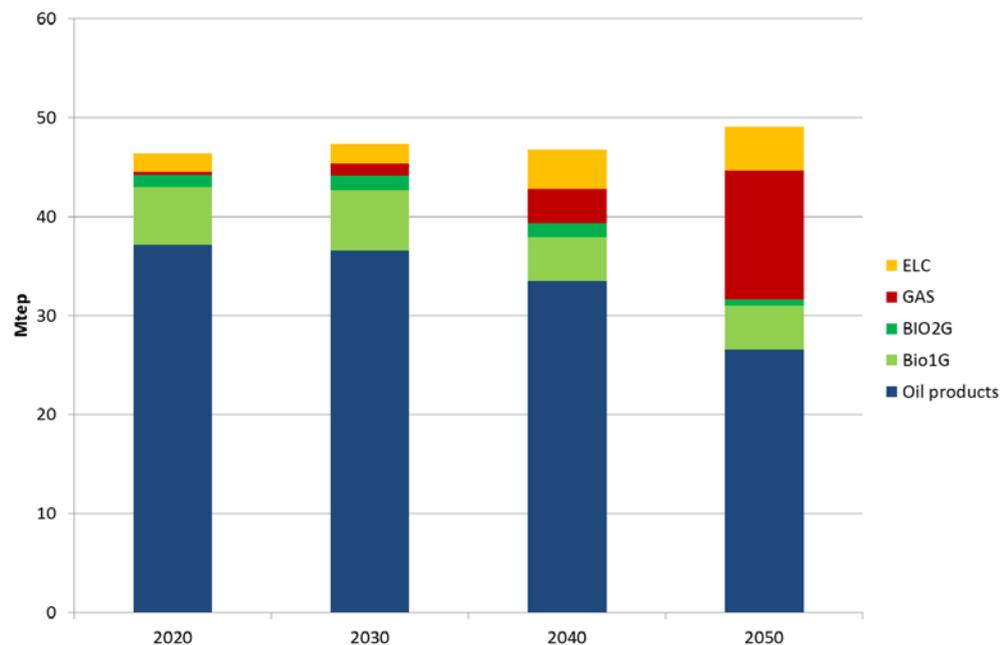


Pour deux variantes: pénalités CO2

- Scénario de référence:
 - Pénalité de 30€ pour la production d'électricité et l'industrie
 - Pas de pénalité dans le secteur des transports
- Pénalités égales à la valeur tutélaire du CO2
 - 100€/tCO2 en 2030 puis selon un taux de croissance égale à 4.5%



Le mix transport dans le scénario de référence

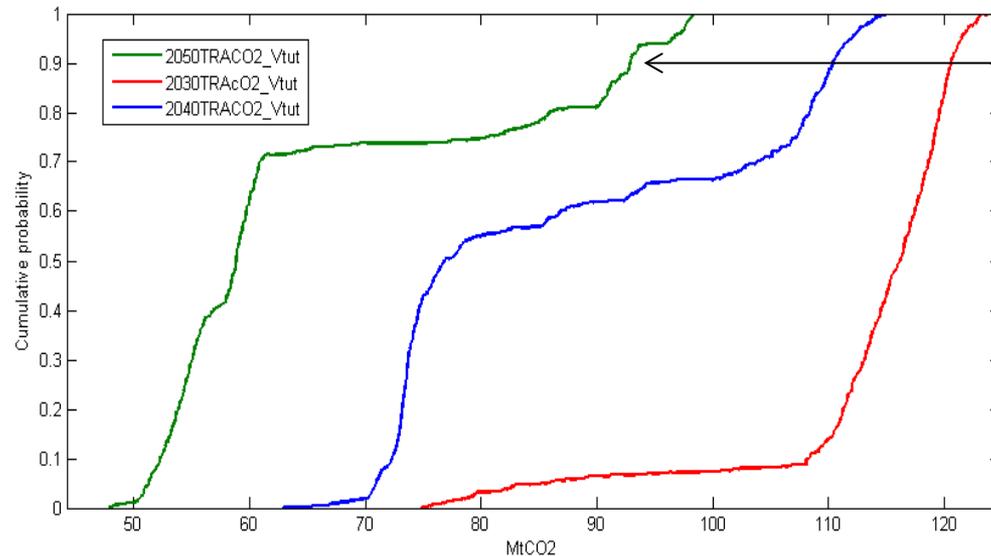


Ecart-type	Oil products	Bio1G	BIO2G	GAS	ELC
2020	1.6	0.8	1.3	0.3	0.6
2030	2.0	1.0	1.5	0.7	0.8
2040	7.1	0.3	1.4	2.1	2.7
2050	10.6	0.1	0.6	6.0	2.7

- L'écart type des filières alternatives est une image du «risque» pour les incertitudes évaluées

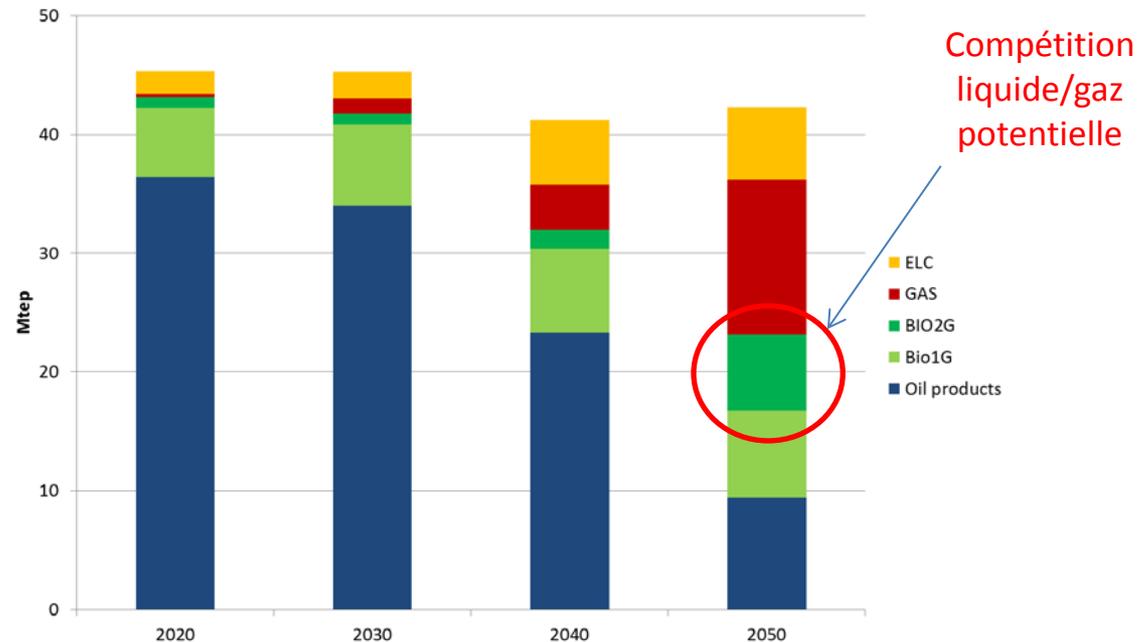
Evolution des émissions de CO2 des transports avec la valeur tutélaire du CO2

Mt TRACO2	2020	2030	2040	2050
Moyenne	119.2	113.6	87.2	65.5
Ecart-type	5.5	9.6	16.2	15.7



- Une division par 1.8 des émissions par rapport à 1990 en moyenne avec une forte dispersion

Evolution du mix avec une forte pénalité CO2



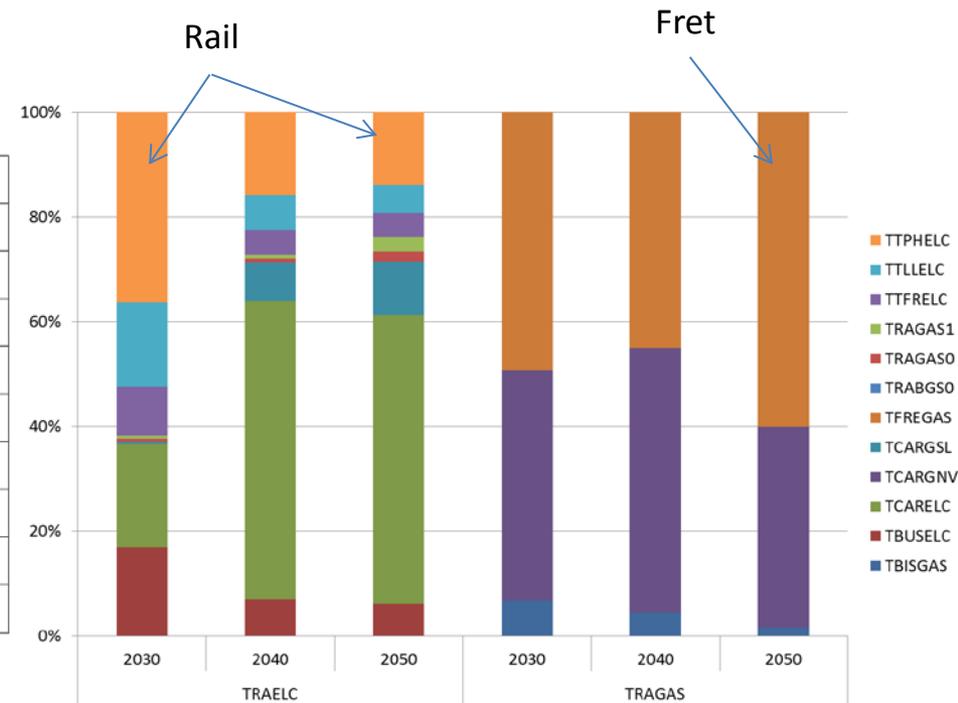
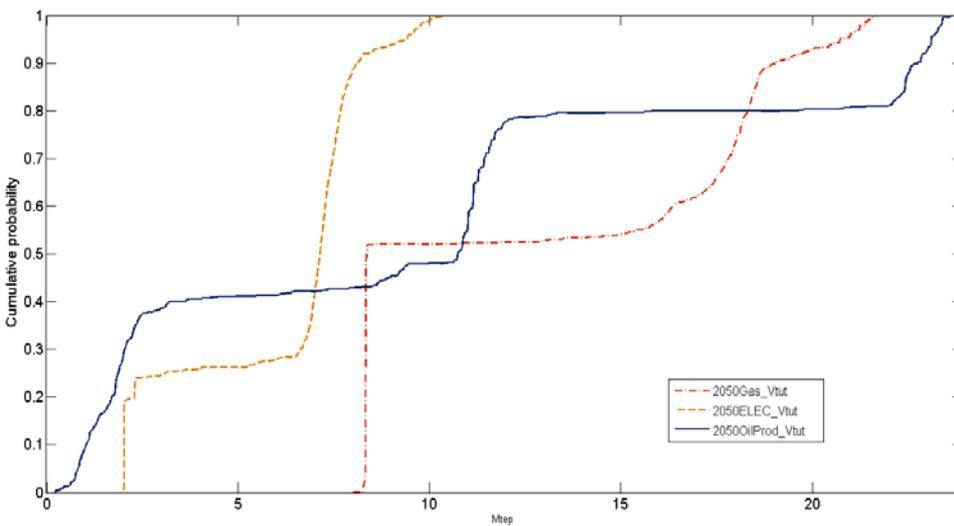
Ecart-type	Oil products	Bio1G	BIO2G	GAS	ELC
2020	1.6	0.8	1.0	0.3	0.6
2030	3.4	0.0	1.0	0.7	1.4
2040	6.2	0.0	1.0	2.1	2.6
2050	7.9	0.0	0.1	5.0	2.5

- La valeur tutélaire du CO2 permettrait de limiter la part des produits pétroliers à 22% dans le transport

Fonction de répartition et choix technologiques

$$\frac{1}{(1 + \alpha)^{n(t-1)}} \sum_{i \in TCH} in$$

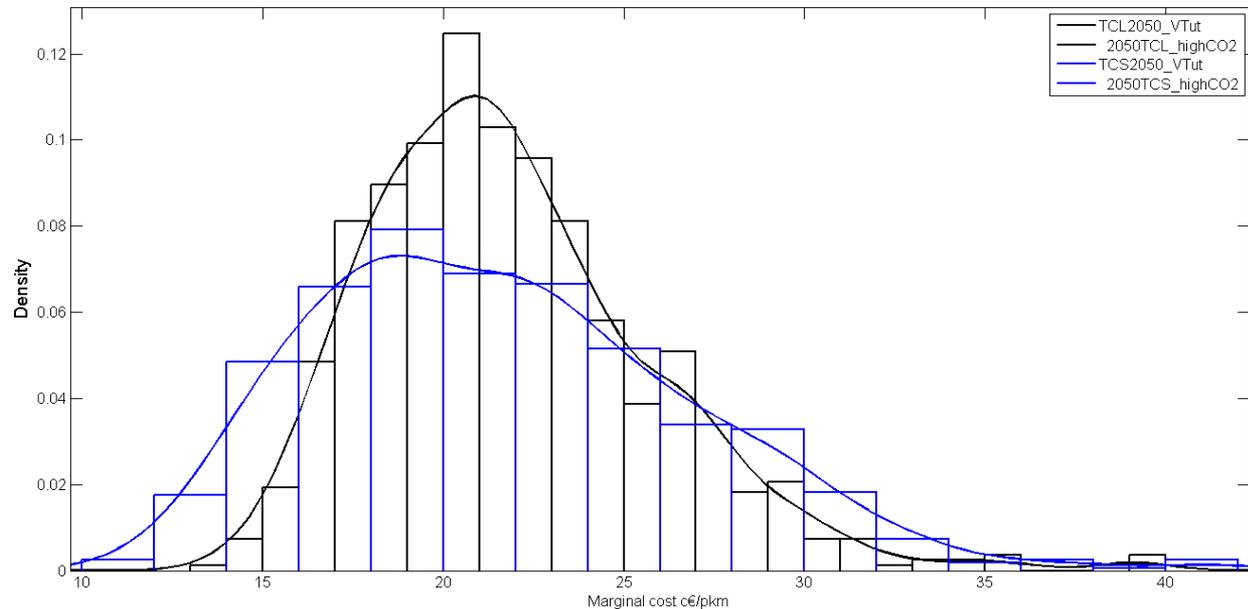
$$\times \left(\sum_{i \in TCH} fixom_i(t) \right)$$



- Rôle central du transport de marchandises pour le gaz et du véhicule particulier pour l'électricité

Evolution du coût marginal de la mobilité

c€/pkm	2020	2030	2050
TCL (longue distance)	19.4	20.6	21.9
TCS (courte distance)	20.8	22.2	21.6



- Différentiation des profils de coût entre courte et longue distance et dans le temps

Conclusion

- L'approche probabiliste permet d'avoir une vision plus complexe des choix technologiques pour les transports. Les résultats montrent:
 - Une grande sensibilité du mix transport et des filières alternatives aux 2 incertitudes évaluées
 - Une pénalité carbone au niveau de la valeur tutélaire du CO2 ne suffit pas à décarboner le mix énergétique moyen des transports
- Autres dimensions en cours d'investigation
 - Une segmentation plus fine du parc automobile
 - Inclure d'autres formes d'incertitude (notamment sur les demandes)
 - Evaluer l'autopartage pour les faibles kilométrages

Split 3-dimension: ref 2050

$$\frac{1}{(1+\alpha)^{n(t-1)}} \sum_{i \in TCH} in$$

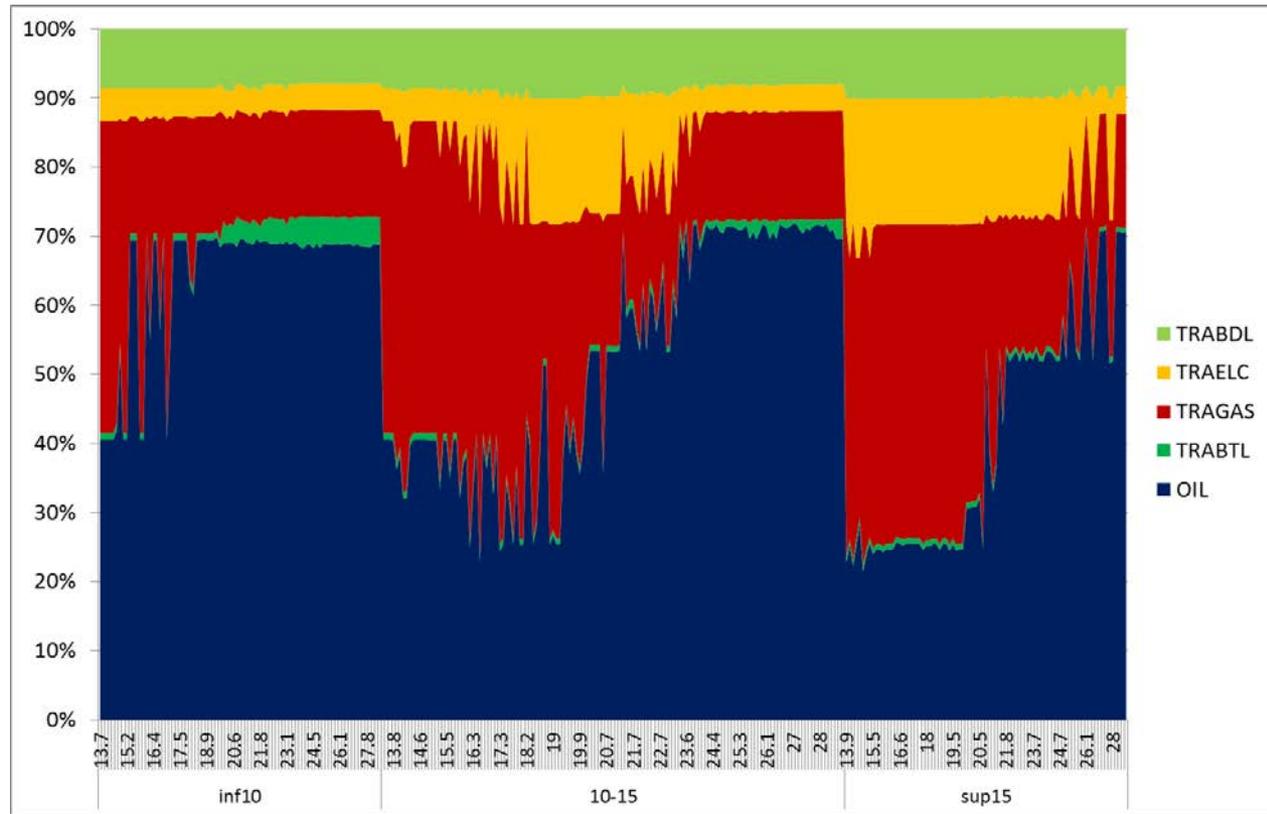
$$\times \left(\sum_{i \in TCH} fixom_i(t) \right)$$

$$+ \sum_{i \in ELA} \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} var$$

$$+ \sum_{k \in ENC} \sum_s com$$

$$+ \sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} price$$

$$- \sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} price$$



Split 3-D Vtutélaire 2050

$$\frac{1}{(1 + \alpha)^{n(t-1)}} \sum_{i \in TCH} in$$

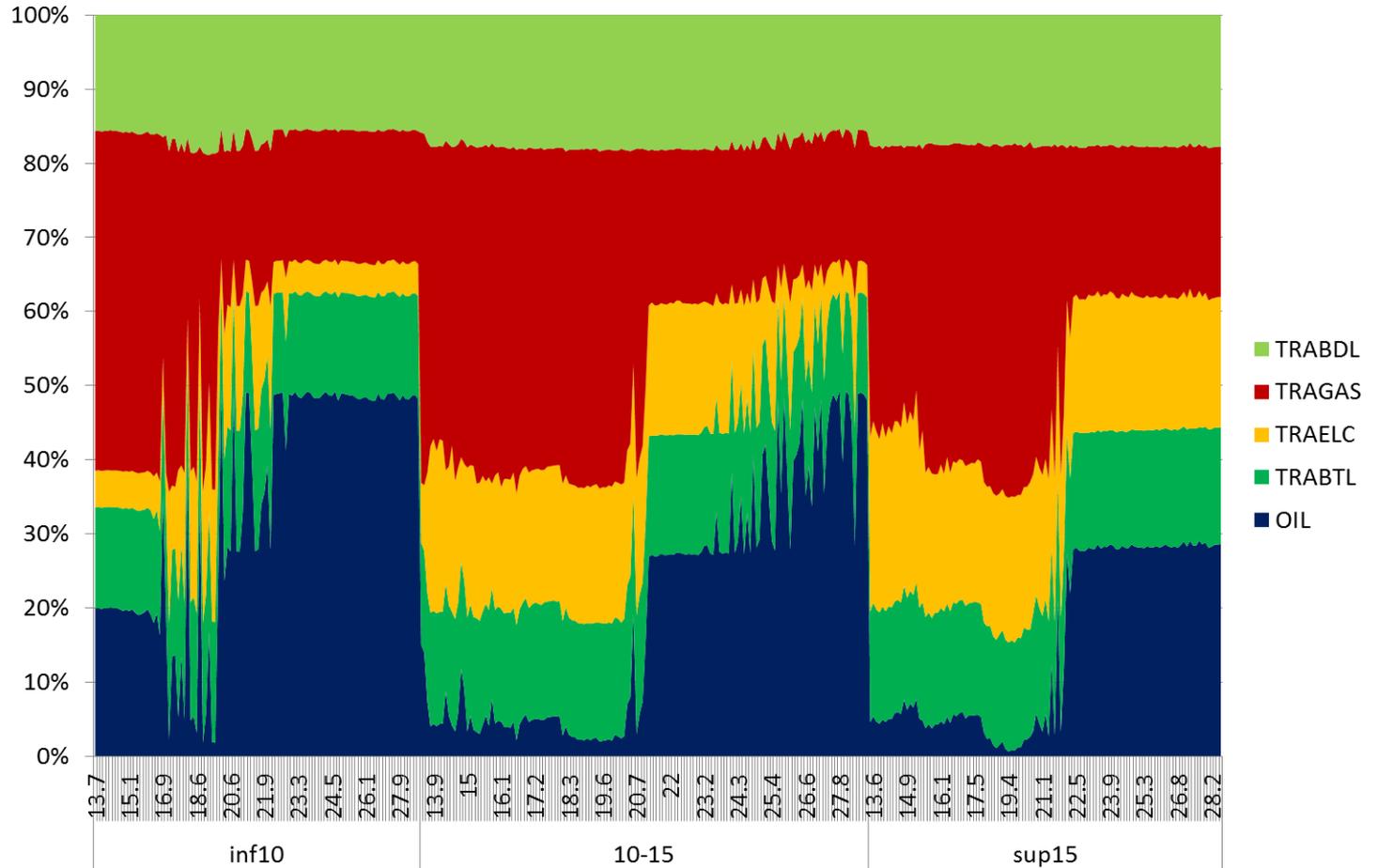
$$\times \left(\sum_{i \in TCH} fixom_i(t) \right)$$

$$+ \sum_{i \in ELA} \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} varu$$

$$+ \sum_{k \in ENC} \sum_s com_s(t)$$

$$+ \sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} price$$

$$- \sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} price$$





$$\frac{1}{(1 + \alpha)^{n(t-1)}} \sum_{i \in TCH} in$$

$$\times \left(\sum_{i \in TCH} fixom_i(t) \right)$$

$$+ \sum_{i \in ELA} \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} varo$$

$$+ \sum_{k \in ENC} \sum_s cost_s(t)$$

$$+ \sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} price$$

$$- \sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} price$$

	2020	2030	2040	2050
oil (\$/boe)	99	110	117	125
gas (\$/MBTU)	10	10	12	13
coal (\$/ton)	102	106	108	110