

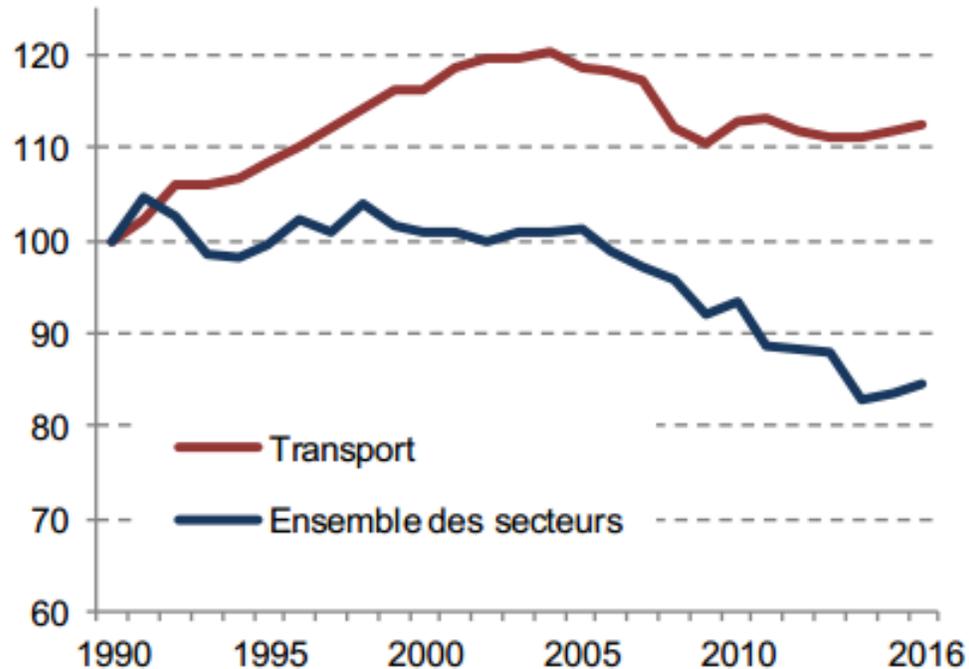
Modélisation et Prospective de la Demande de Mobilité

Soutenance de thèse – Hugo Bois

sous la direction du Pr. Alain Ayong Le Kama

Le contexte

Evolution des émissions de GES

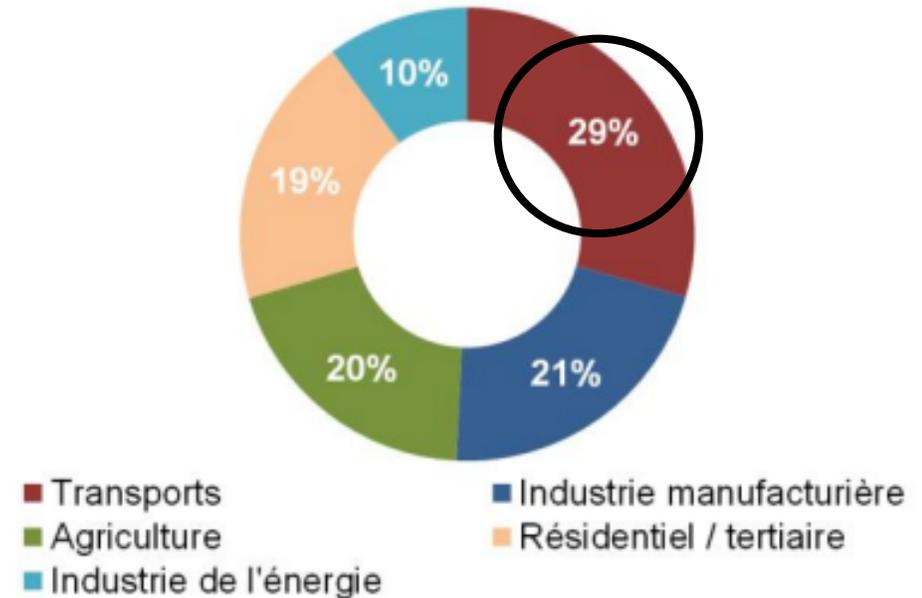


* 2016 = estimation provisoire

Champ : France et DROM

Source : Citepa / rapport Secten 2017

Répartition des émissions de GES



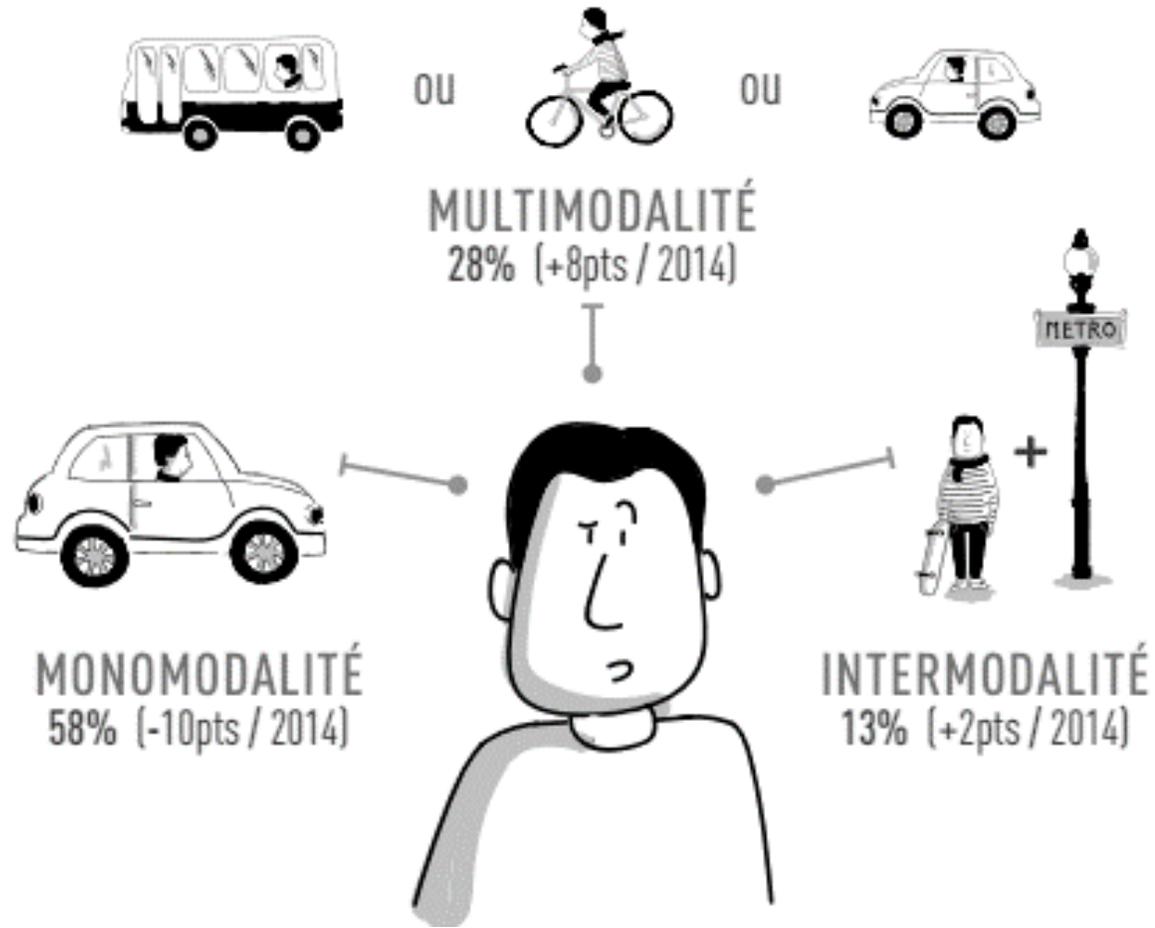
* 2016 = estimation provisoire

Champ : France et DROM

Source : Citepa / rapport Secten 2017

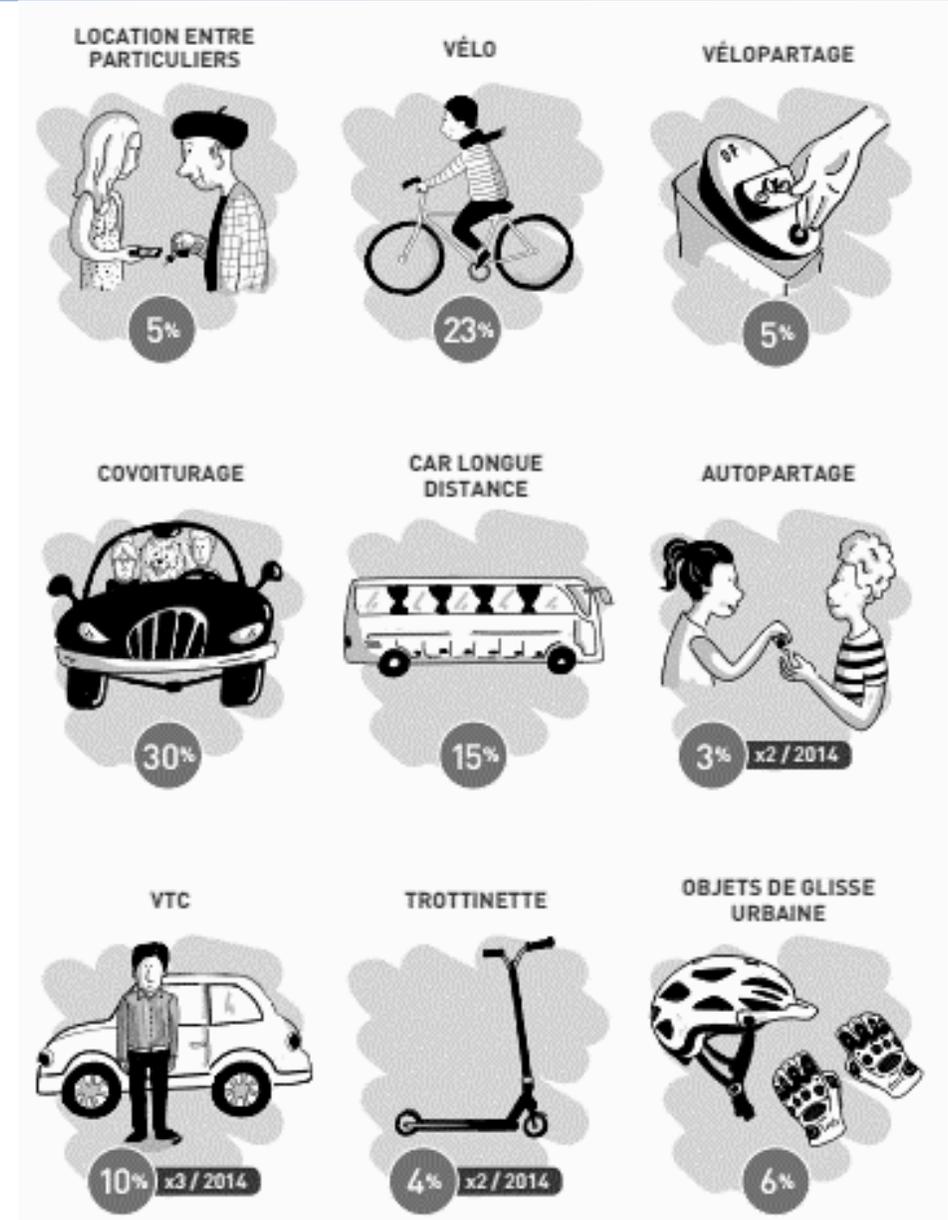
Chaque mode de transport implique des émissions de CO₂ plus ou moins importantes.
Il convient donc de s'intéresser au **choix modal**.

Le contexte



Source : ObSoCo, Laboratoire des Mobilités Emergentes, 2016

20/11/2017



Transport ≠ Mobilité

« **Le Transport** s'adresse à des flux idéalement homogènes constitués de particules équivalentes.

La Mobilité, quant à elle, fait d'emblée référence à la personne singulière et à son activité. »

AMAR G., Homo Mobilis. *Le nouvel âge de la mobilité, éloge de la reliance*, FYP éditions, coll. « Présence », 2010

La question de recherche

Comment modéliser de manière **prospective** la demande de mobilité en s'intéressant aux **attentes individuelles** ?

Les applications

Quelles sont les conséquences d'une **taxe carbone** et d'un **nouveau mode de transport** sur les émissions de **CO₂** et sur la **satisfaction** ?

La structure de la thèse

- **Chapitre 1 : Le cadre d'analyse**

- Quel est le positionnement de cette thèse ?

- **Chapitre 2 : La méthodologie**

- Comment expliquer la construction des préférences modales ainsi que le processus de choix modal ?

- **Chapitre 3 : L'enquête et les résultats**

- Comment récolter les données et les traiter ?

- **Chapitre 4 : Les enseignements**

- Quels sont les conséquences sur nos résultats de l'introduction d'une taxe carbone et d'un nouveau mode de transport dans notre modèle ?

Chapitre 1 : Le cadre d'analyse

- Périmètre: Mobilité **quotidienne des individus**

MOTIFS

Domicile – Travail / Etudes

Loisirs

Achats / Services

Accompagnement

ALTERNATIVES

Marche à pied

Vélo

Vélo en Libre-Service

Deux-roues motorisé

Voiture Particulière

Voiture Electrique

Autopartage

Covoiturage Conducteur

Covoiturage Passager

Taxi / VTC

Bus/Tram/Métro

Train

ATTRIBUTS

Distance

Efficacité Rapidité

Fiabilité

Coût Coût financier
Rentabilité

Sécurité Accidents
Agressions

Confort Tranquillité
Confort physique

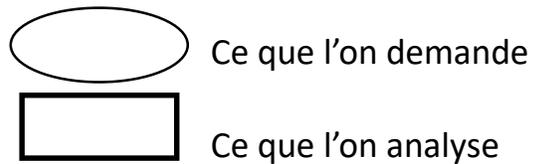
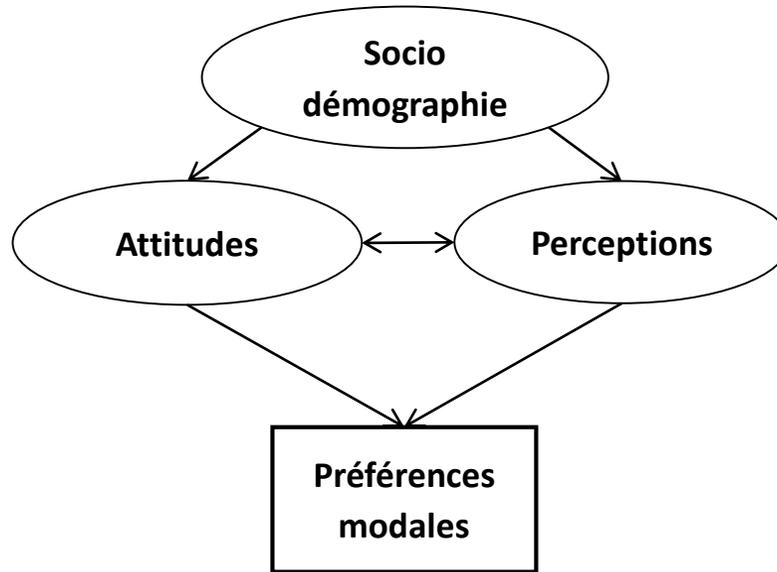
Simplicité Complexité
Effort physique

Image Statut social
Identité

Chapitre 2 : La méthodologie

Comment expliquer la construction des préférences modales ainsi que le processus de choix modal ?

Chapitre 2 : Le schéma global



Chapitre 2 : Le Processus d'Analyse Hiérarchique

Processus d'Analyse Hiérarchique (Saaty, 1977) → Préférences Déclarées

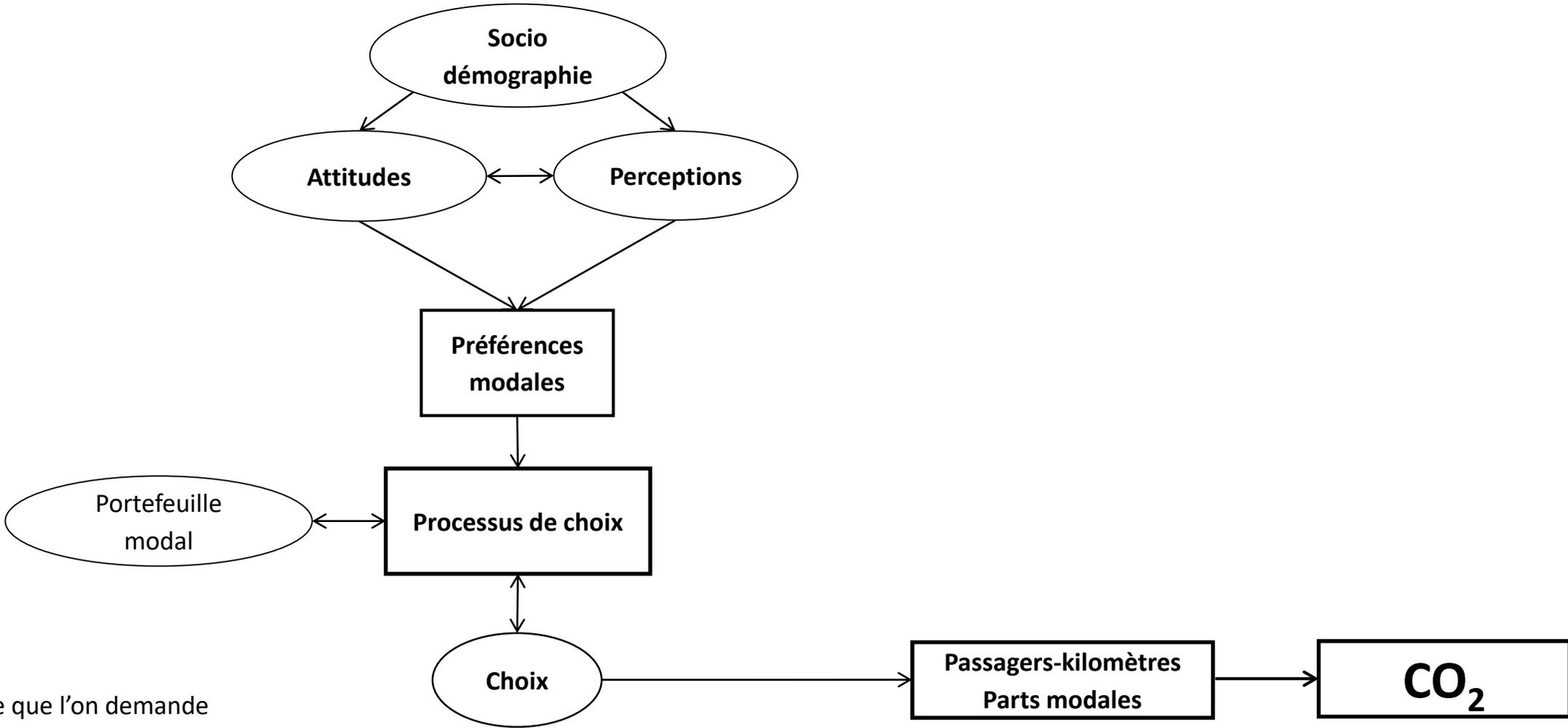
Comparaison par paire : Image  Sécurité

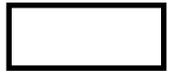
$$Pref_Z = \sum_{X=1}^{X=6} A_X * P_{X,Z} \quad \forall i, Y$$

Pref = Préférences / A = Attitudes / P = Perceptions / i = Individus / X = Attributs / Y = Motifs / Z = Alternatives

Attitudes	0,180	0,165	0,281	0,157	0,096	0,121	
	Coût	Sécurité	Efficacité	Confort	Image	Simplicité	Préférences
Bus	0,333	0,253	0,253	0,439	0,577	1	0,205
Voiture	0,111	0,76	0,439	1	0,439	0,111	0,308
Vélo	0,76	0,76	0,439	1	1	1	0,487

Chapitre 2 : Le schéma global



 Ce que l'on demande
 Ce que l'on analyse

Chapitre 3 : L'enquête et les résultats

Comment récolter les données et les traiter ?

Chapitre 3 : L'enquête

1090 individus représentatifs de la population française des plus de 18 ans sur cinq zones géographiques et deux grandes dimensions:

- *L'offre urbaine de mobilité (10 géotypes)*
 - Le niveau de densité de la population
 - Le niveau de densité de l'offre de mobilité
- *La socio démographie*
 - Sexe
 - Age
 - Catégorie Socioprofessionnelle
 - Structure du foyer

Items :

- Attitudes
- Perceptions
- Préférences
- Portefeuille modal
- Choix
- Occupations
- Résistance au changement
- Immobilité
- Indice de Satisfaction

Chapitre 3 : Les résultats de l'enquête

- Les différences hommes/femmes :
 - Les femmes réalisent plus de trajets que les hommes surtout pour le motif accompagnement et habitent plus loin de leur lieu de travail
 - Les femmes s'occupent plus durant leur trajet que les hommes
 - Les hommes utilisant le vélo déclarent réaliser une activité sportive beaucoup plus que les femmes
- Les franciliens et le reste de la France :
 - Les franciliens passent le plus de temps dans les transports mais sont moins polluants que le reste de la population
 - Les franciliens sont les moins satisfaits de leur mode de transport pour aller travailler et effectuer leurs loisirs, mais ce sont les plus satisfaits pour effectuer les tâches courantes
- Pas de biais d'auto-validation :
 - Il n'y a pas d'évidence d'une meilleure notation des modes connus et utilisés
- La satisfaction augmente jusqu'au deuxième mode de transport disponible, puis diminue ensuite

Chapitre 3 : L'analyse économétrique

Modèle économétrique utilisé :

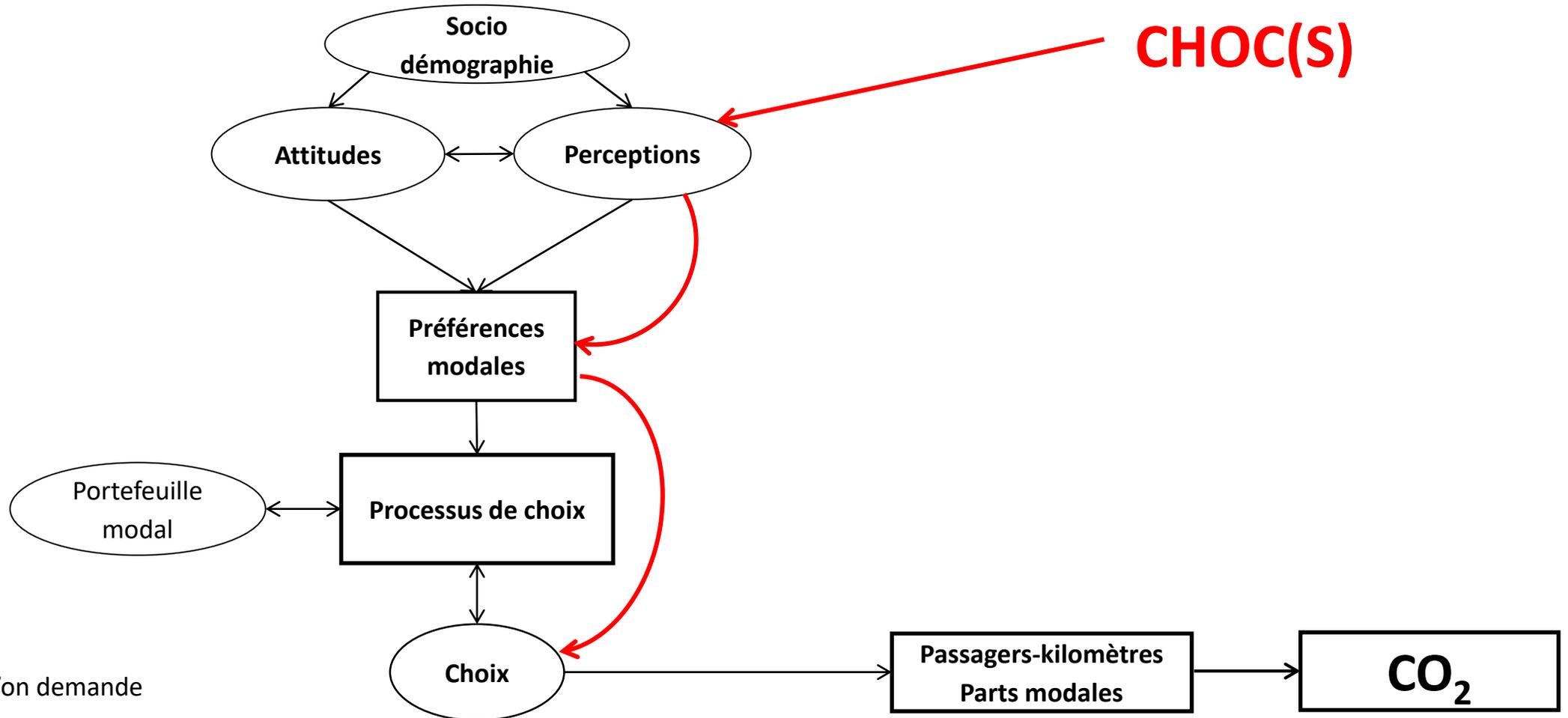
logistique conditionnel multinomial (McFadden, 1968)

- Significativité de la perception de l'**Efficacité** et de la **Simplicité** pour tous les motifs de déplacement et du **Coût** pour le motif Domicile-Travail
- Significativité des attitudes discutables
- Significativité des scores de préférences ($p < 0,01$)
- Très bonne prédictibilité du modèle (entre 86% et 89,7%)

Chapitre 4 : Les enseignements

Quels sont les conséquences sur nos résultats de l'introduction d'une taxe carbone et d'un nouveau mode de transport dans notre modèle ?

Chapitre 4 : Le schéma global



CHOC(S)

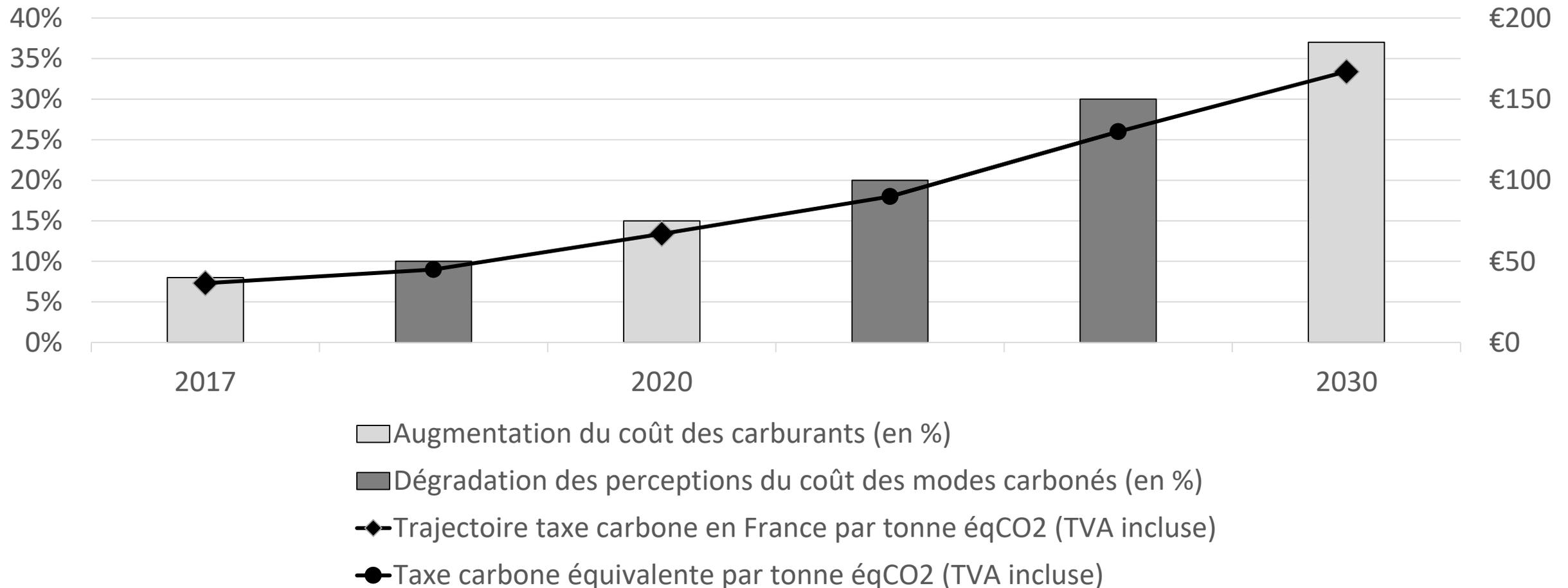
Changement(s) des choix théoriques
= potentiel de report modal

 Ce que l'on demande

 Ce que l'on analyse

Chapitre 4 : L'introduction d'une taxe carbone

Trajectoire carbone en France et équivalence prix des carburants



Chapitre 4 : L'introduction d'une taxe carbone

- **Reports modaux** des modes les plus carbonés vers les modes les moins carbonés

Variations des émissions totales de CO2

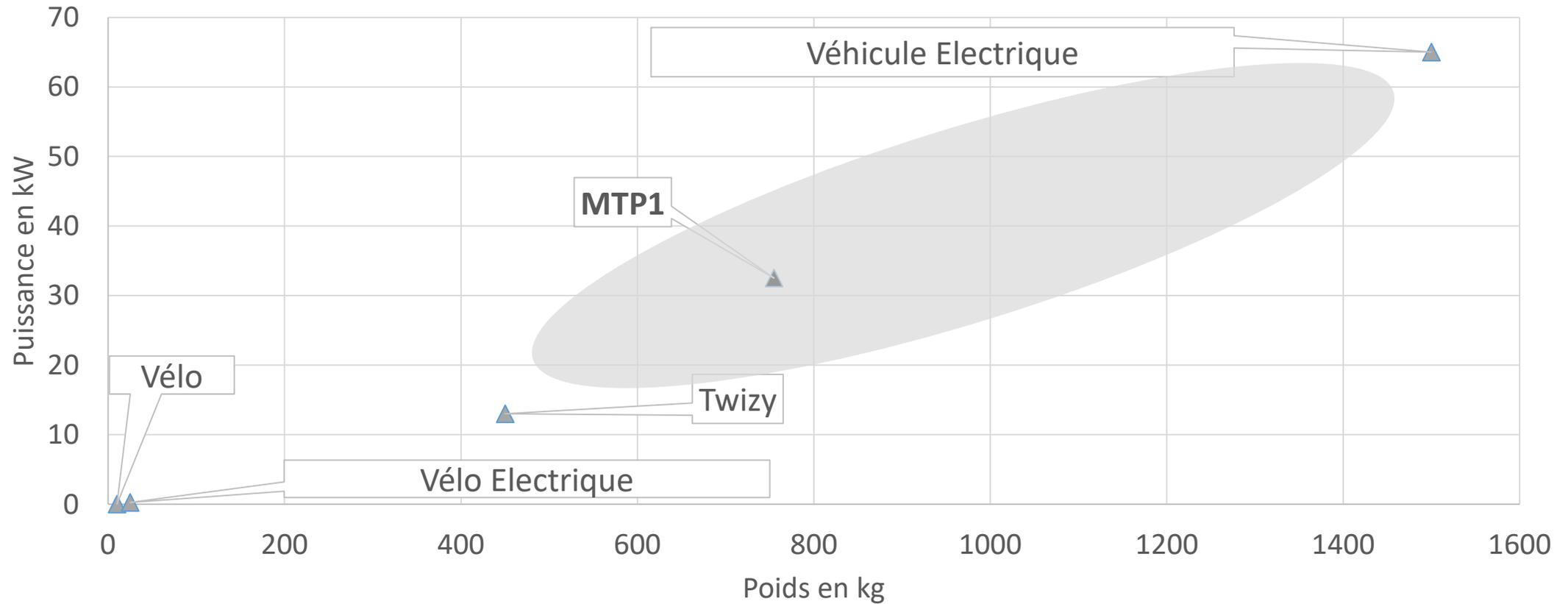
à court terme (sous contraintes)			à long terme (sans contraintes)		
Taxe faible	Taxe moyenne	Taxe élevée	Taxe faible	Taxe moyenne	Taxe élevée
- 2,80%	-3,90%	-4,54%	-6,88%	-8,38%	-10,36%

Variations de l'indice de satisfaction (93,7%)

Taxe faible	Taxe moyenne	Taxe élevée
-0,18	-0,38	-0,58

Chapitre 4 : L'introduction d'un nouveau mode de transport

Positionnement du MTP1



Chapitre 4 : L'introduction d'un nouveau mode de transport

Introduction MTP1

<i>Variations</i>	à court terme	à long terme
Reports modaux vers MTP1	+10,04	+3,41
Emissions CO2 totales	-9,96%	-2,92%
Satisfaction moyenne	+0,74	

Chapitre 4 : L'introduction d'une taxe carbone et d'un nouveau mode de transport

Parts modales

	Parts Modales	Taxe Faible	Taxe Moyenne	Taxe Elevée	Taxe Très Elevée
MTP1 à court terme	10,04%	+0,03	+0,58	+0,97	+1,38
MTP1 à long terme	3,41%	=	+0,02	+0,02	+0,25 (3,66%)

Variations des émissions totales de CO2

	Taxe faible + MTP1	Taxe Moyenne + MTP1	Taxe élevée + MTP1
à court terme			
<i>Effets combinés</i>	-12,45%	-13,98%	-15,22%
<i>Effets séparés (additif)</i>	-12,76%	-13,86%	-14,50%
<i>Synergie</i>	-0,31	+0,12	+0,72

Chapitre 4 : La synthèse des résultats

A court terme	Reports modaux	Émissions de CO2	Satisfaction
Taxe carbone	Des modes carbonés vers les modes moins carbonés	- 3,9%	- 0,38
MTP1	+ 10,0%	- 10,0%	+ 0,74
Taxe carbone + MTP1	Des modes carbonés vers les modes moins carbonés + 10,6%	- 14,0%	+ 0,44

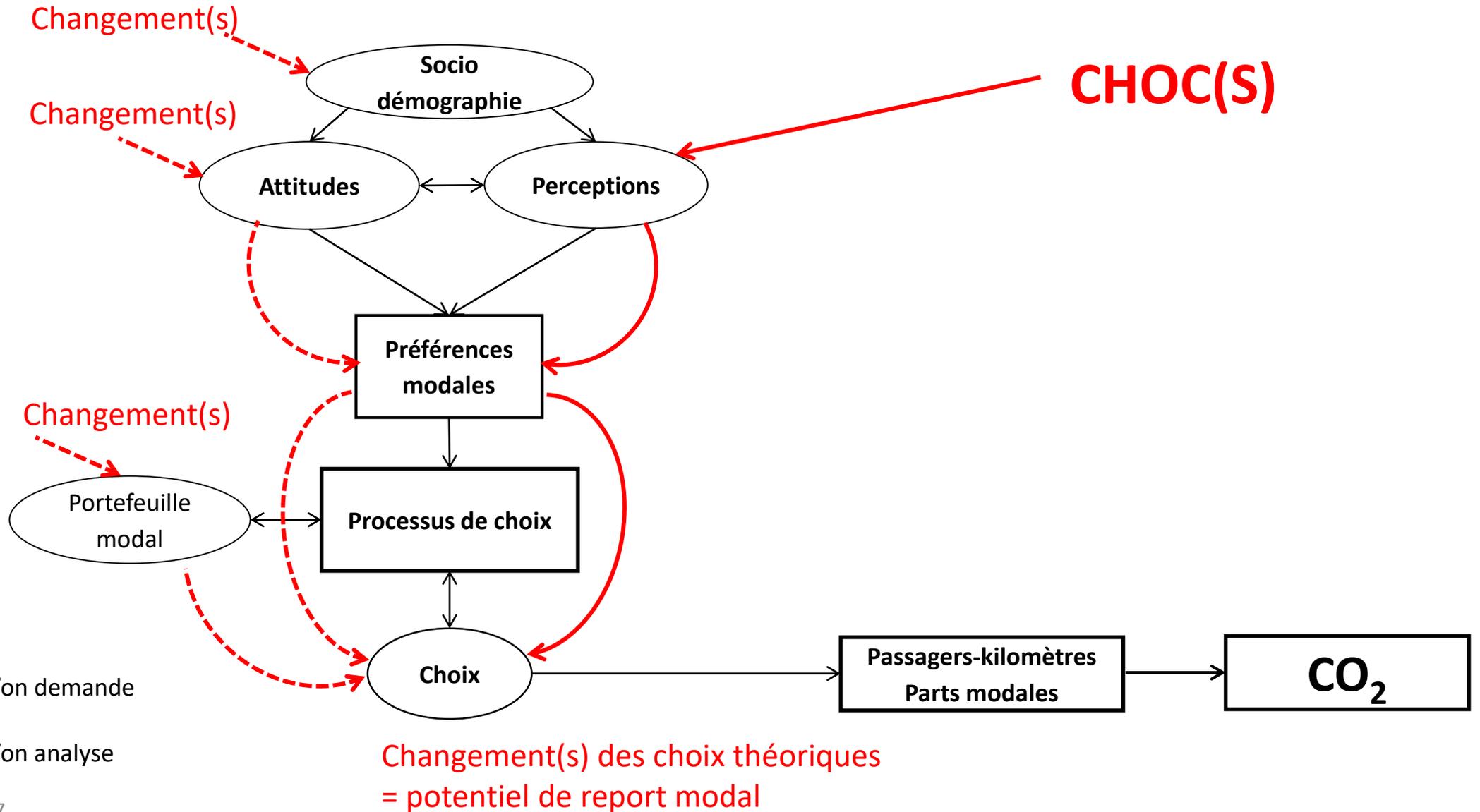
La conclusion

Si l'objectif est de **réduire les émissions** de CO₂ dues au transport tout **en augmentant la satisfaction** des individus, notre modèle nous dit qu'**une taxe carbone assez élevée incite à l'innovation** et permet donc de faire émerger de nouvelles alternatives de transports plus propres et mieux adaptées aux différentes attentes des individus.

Les apports

- Typologie complète des modes de transport et des attributs
- Modèle fondé sur le déclaratif = subjectivité individuelle
- Données riches et représentatives (France)
- Modèle flexible qui permet :
 - une analyse fine de la structure de la demande de mobilité
 - une modélisation d'impacts à court, moyen et long terme

L'aspect prospectif du modèle



Les applications possibles

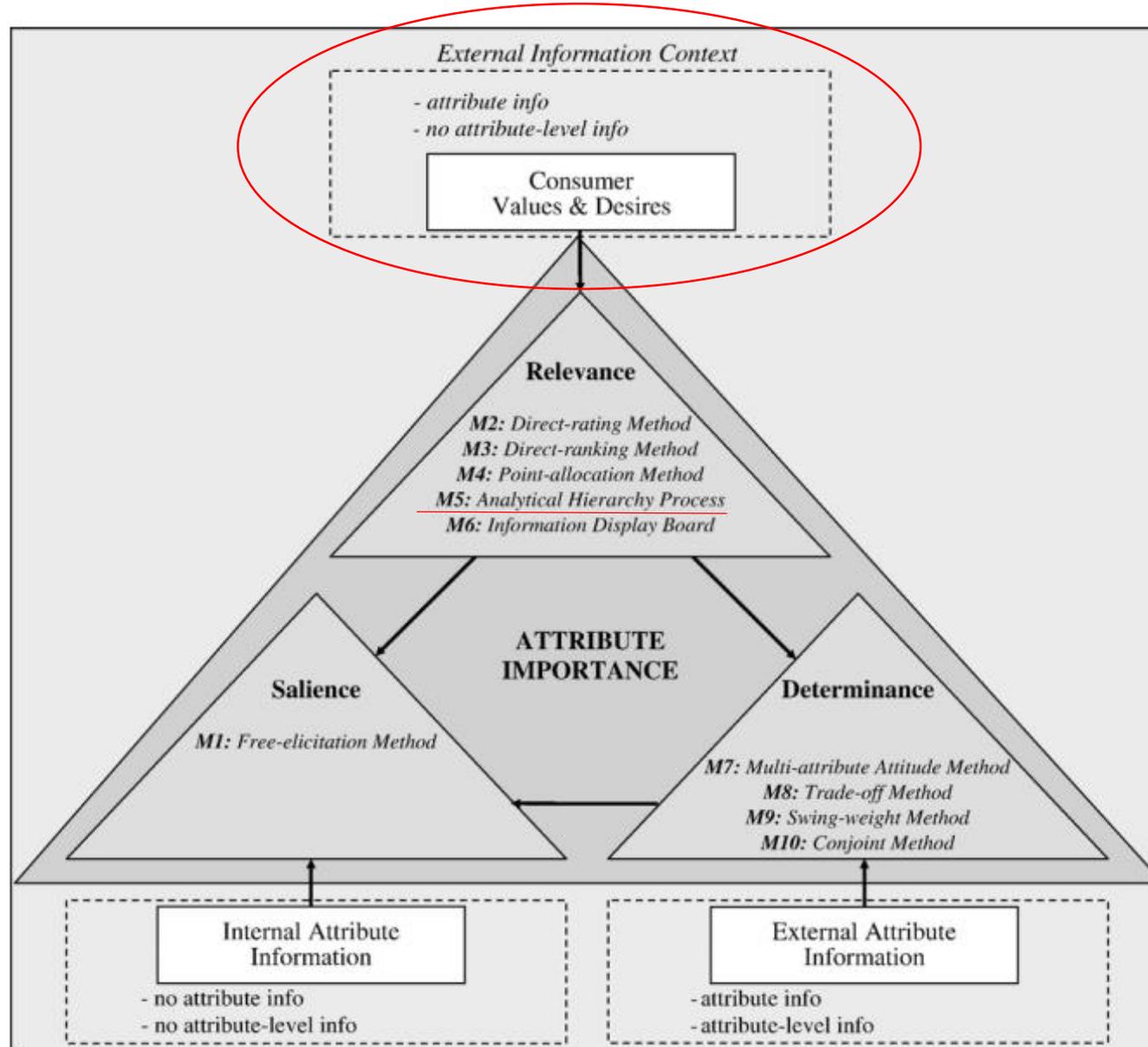
- Pour les **décideurs publics** :
 - Augmentation du nombre de pistes cyclables,
 - Réduction des vitesses dans les zones urbaines,
 - Renouvellement du parc des transports en commun,
 - Nouvelle ligne de transport en commun...
- Pour les **constructeurs** :
 - Autres nouveaux modes de transport,
 - Automatisation des voitures,
 - Amélioration des batteries donc meilleure autonomie des véhicules électriques...
- Pour les **scénarios prospectifs** :
 - Vieillesse de la population,
 - Urbanisation...



Fondamentaux théoriques

- **Utilité d'un bien = Utilité des attributs de ce bien** (*Lancaster, 1966*)
- **Attitudes + Perceptions = Préférences** (*Ben-Akiva, 1987*)
 - Les **Perceptions** sont les convictions ou les estimations individuelles du niveau des attributs des alternatives (ici, les modes de transport).
 - Les **Attitudes** reflètent les besoins , les valeurs , les goûts et les capacités des individus. Elles sont formées au fil du temps et sont affectées par l'expérience et les caractéristiques socioéconomiques.
- **Processus Analytique de Hiérarchie** (*Saaty, 1977*) → Préférences Déclarées

Pourquoi la méthode AHP?



Van Ittersum
and al. 2007

Mesures des perceptions : les proxys

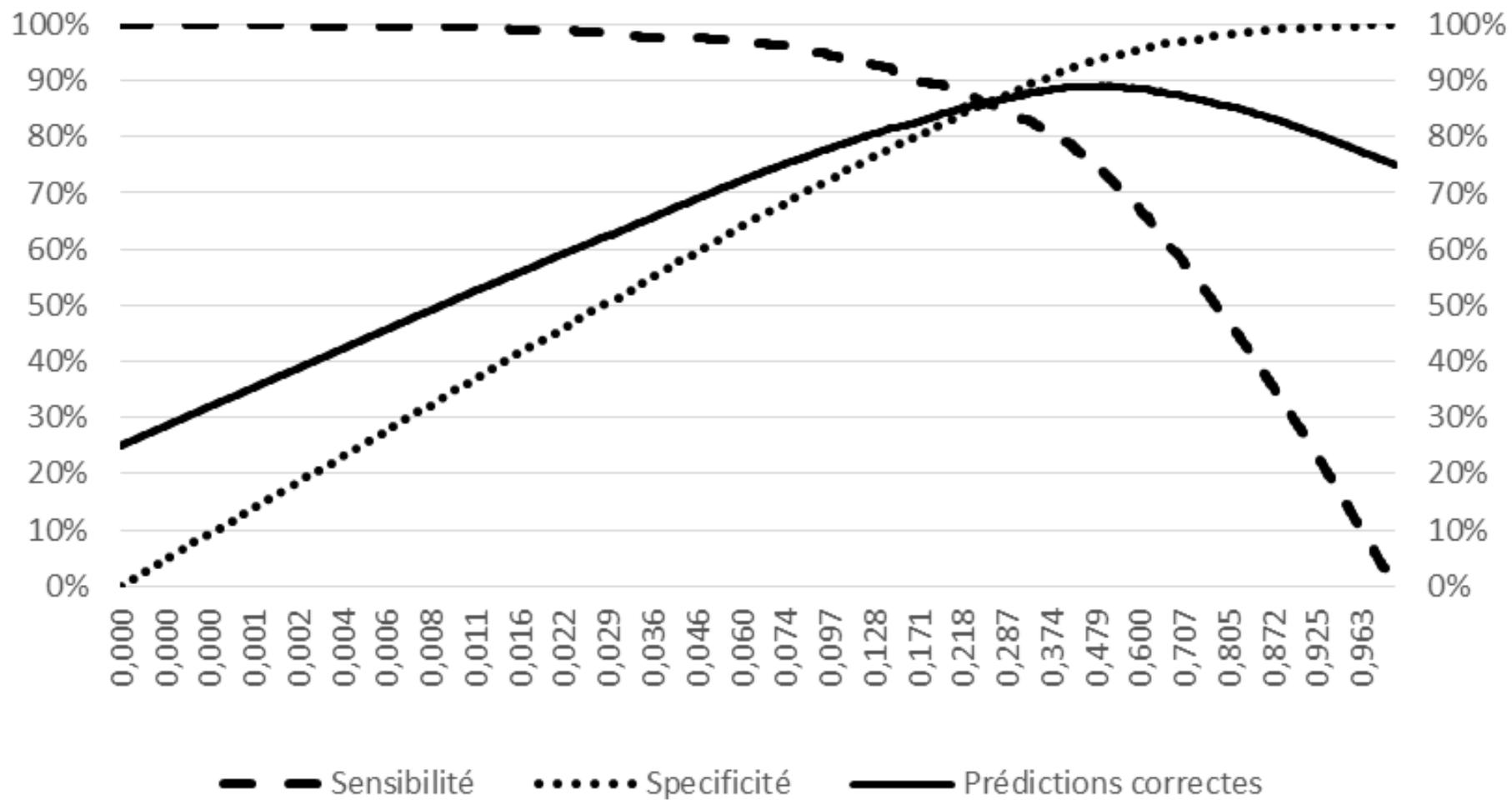
- Quel besoin de mesures quantitatives ?
 - Chaque attribut a son correspondant (composite ou non) quantitatif :

QUALITATIF	Coût	Sécurité	Efficacité	Confort	Identité	Simplicité
QUANTITATIF	Revenu	Taux de Mortalité & Morbidité	Distance-seuil	Densité d'usager	CO2/km	Nombre de lignes de TC Dummy : Permis ou non
	Dummy Passif/Actif	Taux d'Agressions	Temps-seuil	% Places assises	Dummy Passif / Actif	Dummy : Accès Handicapé
			Dummy : site propre Ponctualité des TC		Echelle de statut (du 4x4 au vélo) ????	

→ Possibilité d'avoir une vision en proportion de changement

		Type d'habitat			
		Central	Axial	Diffus	Vide
Offre de mobilité	Omnimétrique	1	3		
	Métrométrique	2	4	6	9
	Métromonométrique			7	
	Monométrique		5	8	10

	TOTAL	IdF	NE	NO	SE	SO
Homme						
Femme						
18 - 24 ans						
25 - 34 ans						
35 - 49 ans						
50 - 64 ans						
Plus de 65 ans						
Géotype 1						
Géotype 2						
Géotype 3						
Géotype 4						
Géotype 5						
Géotype 6						
Géotype 7						
Géotype 8						
Géotype 9						
Géotype 10						
CSP+						
Profession intermédiaire						
Employé-Ouvrier						
Retraités						
Etudiants						
Autres inactifs						
Célibataire actif						
Célibataire inactif						
Monoparental actif						
Monoparental inactif						
Couple 0 actifs						
Couple sans enfant 1ou 2 actifs						
Couple avec enfant 1ou 2 actifs						



Chapitre 4 : Les règles de décision

Linéaire compensatoire (standard) : Une position défavorable sur un critère peut être compensée par une position favorable sur un autre critère.

- **à court terme** Prédicibilité 33,85%
Explicativité 80,61%.
- **à long terme** Prédicibilité 50,21%
Explicativité 81,88%

Conjunctive : Le consommateur établit un seuil minimal d'acceptation pour chaque critère considéré. Une option est acceptable si, et seulement si, elle rencontre ce **seuil pour tous les critères**.

- Meilleure Explicativité pour le motif Domicile-Travail
Indices d'un seuil de 3 (/4)

Disjunctive : Le consommateur établit un seuil minimal d'acceptation pour chaque critère considéré. Une option est acceptable si elle rencontre ce **seuil pour au moins un des critères**.

- Indices d'un seuil de 3 (/4)

Lexicographique : Le consommateur ordonne les critères par degré d'importance. Il examine les options en fonction du **premier critère** et retient les options qui le remplissent. En cas d'ex aequo, il passe au critère suivant.

- Meilleure Explicativité pour le motif Domicile-Travail

Non-compensatoires

Quelle utilisation du modèle ?

- Différentes segmentations possibles :
 - par variable sociodémographiques : sexe, âge, CSP, structure du foyer
 - par hiérarchie des attitudes
 - par utilisateur du mode ou non (perceptions)
 - par préférences modales (hiérarchie des modes)
 - par règle de décision
 - par portefeuille modal
- Ces segmentations sont utilisées pour **affiner l'analyse** de la structure de la demande de mobilité mais aussi pour **modéliser des chocs et des changements prospectifs**.
- Choc exogène de demande : variation imprévue de la demande globale due à une politique publique, une innovation, un investissement privé...

Liens entre chocs et perceptions

- **Vision à Court Terme → Inertie des Attitudes, de l'Environnement et du Portefeuille Modal**
- **Pas de changement des Attitudes** (les changements des Attitudes se font sur un temps long)
- **Pas de changement de Portefeuille Modal** (ni dans les Passifs, ni dans les Actifs)

Type de choc →	Attributs →	Perceptions
Campagne d'information	=	+
Manque d'information ou Choc trop faible	+	=
Autres chocs	+	+

Quelques exemples de chocs :

- Taxe carbone
- Gratuité des TC
- Zone à faible émission
- Restriction du stationnement
- Normes sur les émissions de CO₂
- Nouveau mode de transport...

- **Changement de Perceptions**

- d'un (ou plusieurs) groupe(s) d'individus
- concernant un (ou plusieurs) attribut(s)
- relatif à un (ou plusieurs) mode(s)



Choc connu : revue de la littérature

Choc nouveau : dires d'experts

Reports modaux taxe carbone

	Parts Modales Réelles	sous contraintes				sans contraintes			
		Parts Modales	Taxe faible	Taxe moyenne	Taxe élevée	Parts Modales	Taxe faible	Taxe moyenne	Taxe élevée
Marche à Pieds	3,40%	9,30%	<i>+0,34</i>	<i>+0,42</i>	<i>+0,54</i>	34,33%	<i>+0,86</i>	<i>+1,14</i>	<i>+1,33</i>
Transport en Commun	12,16%	5,70%	<i>+0,08</i>	<i>+0,13</i>	<i>+0,19</i>	5,21%	<i>+0,08</i>	<i>+0,10</i>	<i>+0,20</i>
Train	6,55%	7,25%	<i>+1,14</i>	<i>+1,86</i>	<i>+2,41</i>	3,96%	<i>+0,19</i>	<i>+0,32</i>	<i>+0,47</i>
Voiture Particulière	72,63%	58,34%	<i>-1,69</i>	<i>-2,53</i>	<i>-3,05</i>	29,08%	<i>-3,60</i>	<i>-4,17</i>	<i>-4,91</i>
Véhicule Electrique	0,58%	0,17%	<i>+0,49</i>	<i>+0,49</i>	<i>+0,49</i>	5,33%	<i>+2,69</i>	<i>+2,90</i>	<i>+3,20</i>
Autopartage	0,22%	0,00%	<i>0,00</i>	<i>+0,02</i>	<i>+0,02</i>	0,17%	<i>+0,01</i>	<i>+0,01</i>	<i>+0,13</i>
Covoiturage Conducteur	0,80%	7,97%	<i>+0,26</i>	<i>+0,41</i>	<i>+0,29</i>	3,38%	<i>+0,01</i>	<i>-0,03</i>	<i>-0,14</i>
Covoiturage Passager	1,32%	4,37%	<i>-0,17</i>	<i>-0,28</i>	<i>-0,37</i>	1,65%	<i>-0,29</i>	<i>-0,31</i>	<i>-0,35</i>
Vélo	0,89%	0,48%	<i>+0,02</i>	<i>+0,02</i>	<i>+0,02</i>	3,72%	<i>+0,01</i>	<i>+0,02</i>	<i>+0,02</i>
Vélo en Libre-Service	0,42%	0,06%	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	3,34%	<i>+0,27</i>	<i>+0,39</i>	<i>+0,78</i>
Deux-Roues Motorisé	0,76%	2,02%	<i>-0,28</i>	<i>-0,36</i>	<i>-0,37</i>	3,82%	<i>-0,23</i>	<i>-0,31</i>	<i>-0,56</i>
Taxi	0,24%	4,35%	<i>-0,17</i>	<i>-0,17</i>	<i>-0,17</i>	6,01%	<i>0,00</i>	<i>-0,08</i>	<i>-0,18</i>

Contraintes

ACTIFS abonnements	Internet domicile	OUI	Pour Covoiturage Conducteur et Passager
	Internet mobile	OUI	Pour Covoiturage Conducteur et Passager
	Transports en Commun	OUI	Pour Transports en Commun
	Vélo en Libre-Service	OUI	Pour Vélo en Libre-Service
	Autopartage	OUI	Pour Autopartage
	Parking automobile	NON	Pour Voiture Particulière ou Véhicule Electrique
ACTIFS possession	Permis de conduire	OUI	Pour Voiture Particulière ou Véhicule Electrique et Covoiturage Conducteur
	Voiture Particulière	OUI	Pour Voiture Particulière et Covoiturage Conducteur
	Véhicule Electrique	OUI	Pour Véhicule Electrique
	Deux-Roues Motorisé	OUI	Pour Deux-Roues Motorisé
	Vélo	OUI	Pour Vélo
PASSIFS accessibilité	Arrêt Transports en Commun	OUI	Pour Transports en Commun
	Station Autopartage	OUI	Pour Autopartage
	Station Vélo en Libre-Service	OUI	Pour Vélo en Libre-Service
	Gare	OUI	Pour Train
Distances	Marche à Pieds	< 3 km	Pour Marche à Pieds
	Vélo	< 3 km	Pour Vélo