

Réduire le coût socio-environnemental des mobilités d'achats et de livraisons des consommateurs dans le dernier kilomètre

Victor Chapuis
Séminaire interne, SPLOTT

09/09/2024

Contexte

Forte croissance du e-commerce en France

- En 2022, 146,9 milliards d'euros de chiffre d'affaires (+13,8%)

Impact environnemental des livraisons

- Plus d'un milliard de colis livrés annuellement en France
- Un million de tonnes équivalent CO₂/an environ lié au volume d'activité

Politiques publiques en faveur de livraisons plus durables

- Exemple de la TREC (*tasa de reparto e-commerce*) de Barcelone (Dablanc, 2023) avec l'objectif de promouvoir les livraisons en point relais
- Zones à faible émission

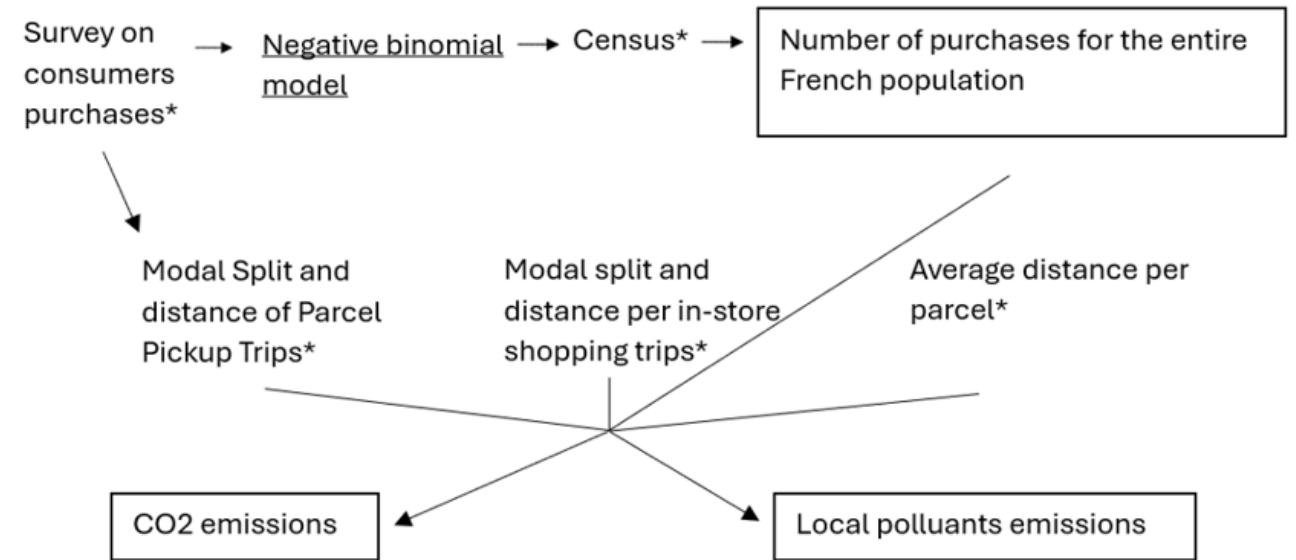
Question de recherche

Comment estimer et réduire le coût social lié aux pratiques d'achat des consommateurs dans le cadre du dernier kilomètre?

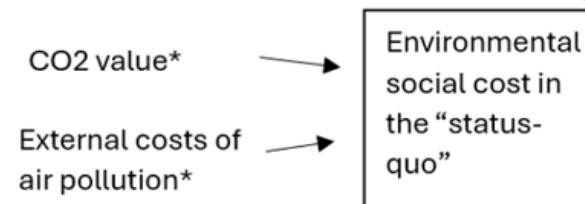
Méthodologie

1. Prédire le nombre d'achats en magasin / à distance des consommateurs en France
2. Estimer les coûts privés et externes liés aux pratiques d'achat dans le cadre du dernier kilomètre
3. Elaborer des scénarios de politiques publiques visant à réduire le coût social

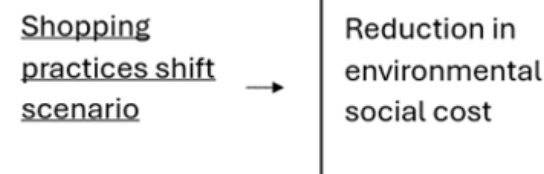
Step 1 :



Step 2 :



Step 3 :



Revue de littérature – Modélisation du nombre d'achats (étape 1)

- **Caspersen et al. (2023)** : Ont estimé un modèle « hurdle » pour les comptages marginaux latents lorsque seuls les comptes totaux et les types de marchandises achetées étaient connues.
- **De Sousa et al. (2023)** = Ont estimé des modèles de régression binomiale négative pour les livraisons de colis à Belo Horizonte au Brésil en prenant en compte les caractéristiques du quartier de résidence.

Revue de littérature – Estimation de l'impact environnemental des achats (étape 2)

- **Buldeo Rai, Touami, Dablanc (2023)** = Selon une méta-analyse, les achats en ligne ont une empreinte carbone plus faible que les achats en magasin uniquement dans les contextes de dépendance à la voiture.
- **Mommens et al. (2021)** = A partir du modèle multi-agents TRABAM, les auteurs montrent qu'en Belgique les livraisons à domicile sont préférables dans les zones rurales et peu urbanisées, tandis que les livraisons en point retrait sont préférables en milieu urbain.

Revue de littérature – Elaboration de scénarios pour réduire les émissions liées aux mobilités (étape 3)

- **Leroutier, Quirion** : (2023) = Sur la base de scénarios en région parisienne, les auteurs montrent qu'un transfert des trajets en voiture vers des modes à faibles émissions, ainsi que le recours plus fréquent au télétravail, permettrait de réduire les émissions de polluants liées à la mobilité de 20 %, générant ainsi des bénéfices climatiques et sanitaires annuels de 125 millions d'euros.

Étapes

- 1. Prédire le nombre d'achats en magasin / à distance des consommateurs en France**
2. Estimer les coûts privés et externes liés aux pratiques d'achat dans le cadre du dernier kilomètre
3. Elaborer des scénarios de politiques publiques visant à réduire le coût social

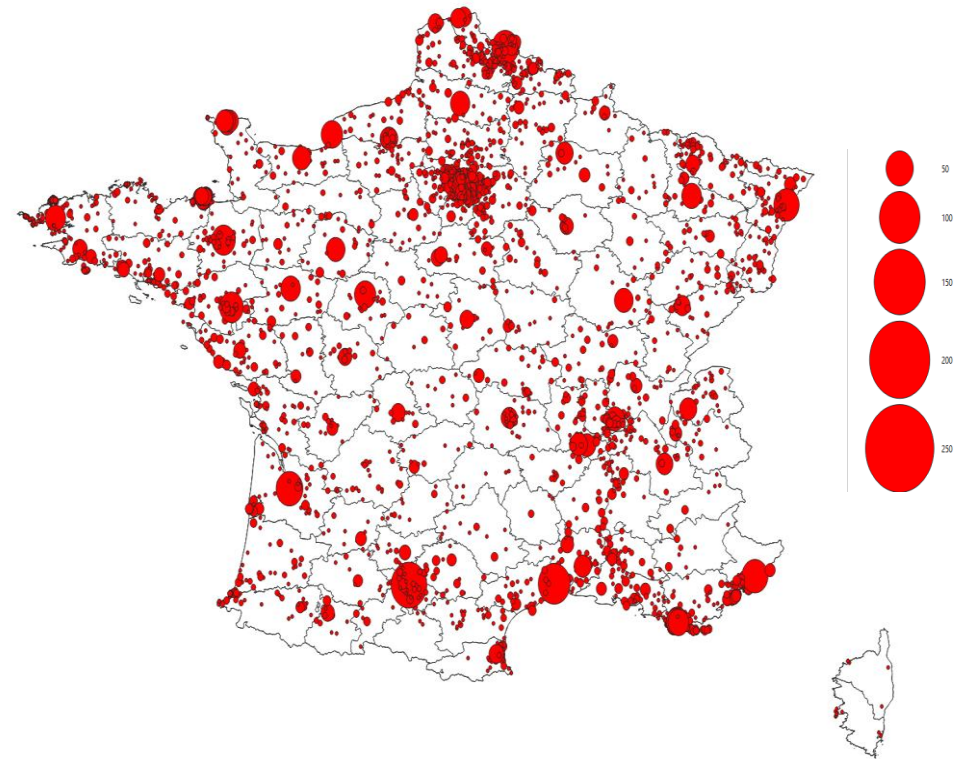
Enquête - Questionnaire

Enquête auprès d'un échantillon représentatif de la population française métropolitaine (N = 6157)

- Passation par internet
- 2 vagues : novembre 2022 et avril 2023.
- déroulé du questionnaire :
 - Profil socio-économique
 - Nombre d'achats sur 30 derniers jours par catégorie de biens, en magasin, livraison à domicile, livraison hors domicile (point-relais)
 - Détails sur la dernière livraison (délai & frais de livraison, mode de transport utilisé pour la récupération du colis en point-relais...)

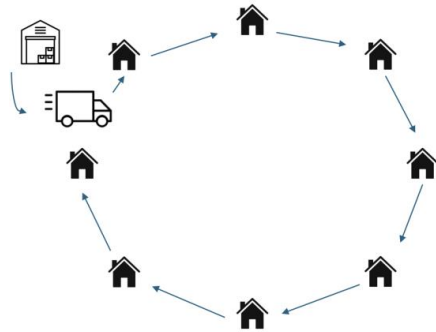
Enquête – Représentativité nationale

<i>Description</i>	<i>Recensement (%)</i>	<i>Échantillon (%)</i>
Genre		
Femme	52.67	50.33
Homme	47.33	49.67
Age		
16 - 24	11.23	8.38
25 - 34	16.41	16.83
35 - 49	24.64	24.51
50 - 64	23.48	24.69
65PLUS	24.23	25.60
CSP		
CSP+	27.25	27.37
CSP-	24.56	29.74
Etudiants	6.21	4.17
Retraités	26.01	28.67
Inactifs	15.97	10.05
N (ind)		6157

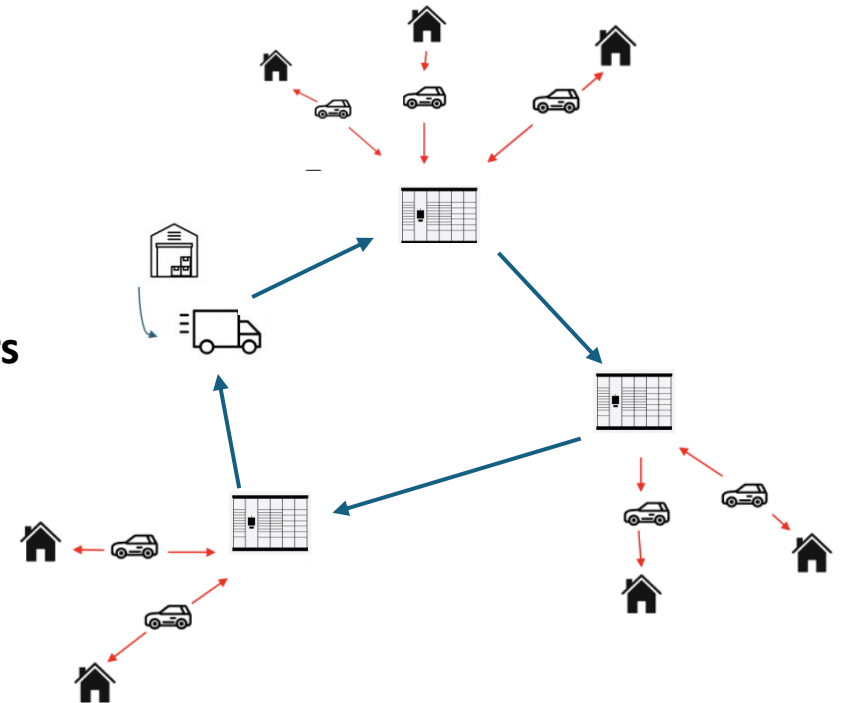


Enquête – les modes d'achat étudiés

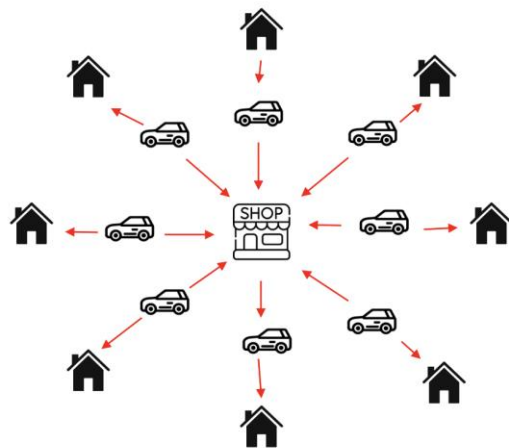
1. Livraison à domicile



2. Livraison hors domicile



3. Achat en magasin



Enquête – Statistiques descriptives

<i>Characteristic</i>	<i>Mean Home Delivery</i>	<i>Mean OOHD</i>	<i>Mean Store Purchase</i>
AGE			
16-24	1.63	1.33	6.67
25-34	1.74	0.93	6.08
35-49	1.23	0.65	3.75
50-64	0.96	0.38	3.12
65+	1.04	0.31	3.05
SPC			
SPC+	1.53	0.75	4.70
SPC-	1.17	0.78	4.70
Student	1.40	0.86	4.70
Retired	1.00	0.30	3.09
Inactive	1.25	0.40	2.87

Table 1: Descriptive statistics for home delivery, out-of-home delivery, and store purchase (means)

Modélisation du nombre d'achat des consommateurs

- Modèle binomial négatif

$$Y_i \sim \text{NegBin}(\mu_i, \theta)$$

Y_i = nombre d'achats pour l'individu i

μ_i = moyenne attendue du nombre d'achats

θ = un paramètre de dispersion

$$\log(\mu_i) = \beta_0 + \beta_1 \text{Genre}_i + \beta_2 \hat{\text{Age}}_i + \beta_3 \text{TypeLogement}_i + \beta_4 \text{Enfants}_i + \beta_5 \text{TailleMénage}_i + \beta_6 \text{CSP}_i + \beta_7 \text{Voiture}_i + \beta_8 \text{Télétravail}_i + \beta_9 \text{Vague}_i$$

Résultats

- Livraison à domicile** : Les personnes âgées et les parents commandent moins de livraisons à domicile, tandis que le télétravail et les facteurs saisonniers les augmentent.
- Livraison hors domicile** : Les propriétaires de voitures ont tendance à commander plus de livraisons hors domicile.
- Achat en magasin** : Les parents, les catégories socioprofessionnelles inférieures, les retraités, les propriétaires de voitures et les télétravailleurs semblent faire leurs courses avec une fréquence plus élevée.

<i>Characteristic</i>	<i>Home deliveries</i>	<i>OOHD</i>	<i>Store Purchase</i>
Gender			
Male	0.83*** (0.038)	0.90* (0.062)	0.88*** (0.030)
Age			
	0.99*** (0.003)	0.98*** (0.003)	0.99*** (0.003)
Type of Housing			
House	1.02 (0.048)	0.93 (0.071)	0.96 (0.071)
Children in Household			
1 Child	0.88* (0.061)	1.00 (0.100)	1.12** (0.058)
Household Size			
	1.04 (0.028)	0.97 (0.041)	1.01 (0.034)
Socio-professional Category (SPC)			
SPC-	0.73*** (0.061)	1.22 (0.160)	1.19** (0.065)
SPC+	0.81** (0.071)	1.14 (0.160)	1.12 (0.080)
Student	0.77* (0.105)	1.31 (0.258)	1.21 (0.130)
Retired	0.95 (0.095)	1.10 (0.166)	1.34*** (0.100)
Car Ownership			
Owns a Car	1.04 (0.058)	1.23* (0.140)	1.30*** (0.076)
Telework			
Yes	1.42*** (0.085)	1.36*** (0.090)	1.23*** (0.054)
Wave			
April 2023	0.73*** (0.046)	0.69*** (0.046)	1.18*** (0.038)

Number of observations: 6105.

*** Significant at the 1 percent level.
* Significant at the 5 percent level.
Significant at the 10 percent level.

Extrapolation à l'ensemble de la population française

- Nombre total de livraisons de colis estimé sur un mois :
93 millions de colis
- Ordre de grandeur cohérent avec les estimations de France Stratégie **d'un milliard de colis livrés sur l'année** *(Pour un développement durable du commerce en ligne, 2021)*

Étapes

1. Prédire le nombre d'achats en magasin / à distance des consommateurs en France
- 2. Estimer le coût social lié aux pratiques d'achat dans le cadre du dernier kilomètre**
3. Elaborer des scénarios de politiques publiques visant à réduire le coût social

Fonction de coût social

$$C_{social} = C_{privé} + C_{externe}$$

- $C_{externe}$ = émissions de polluants ($CO_2/NOX/PM_{2.5}$) * valeurs tutélaires
- $C_{privé}$ = coût monétaire (*frais de déplacement, frais de livraison*) + coût du temps

Fonction de coût social

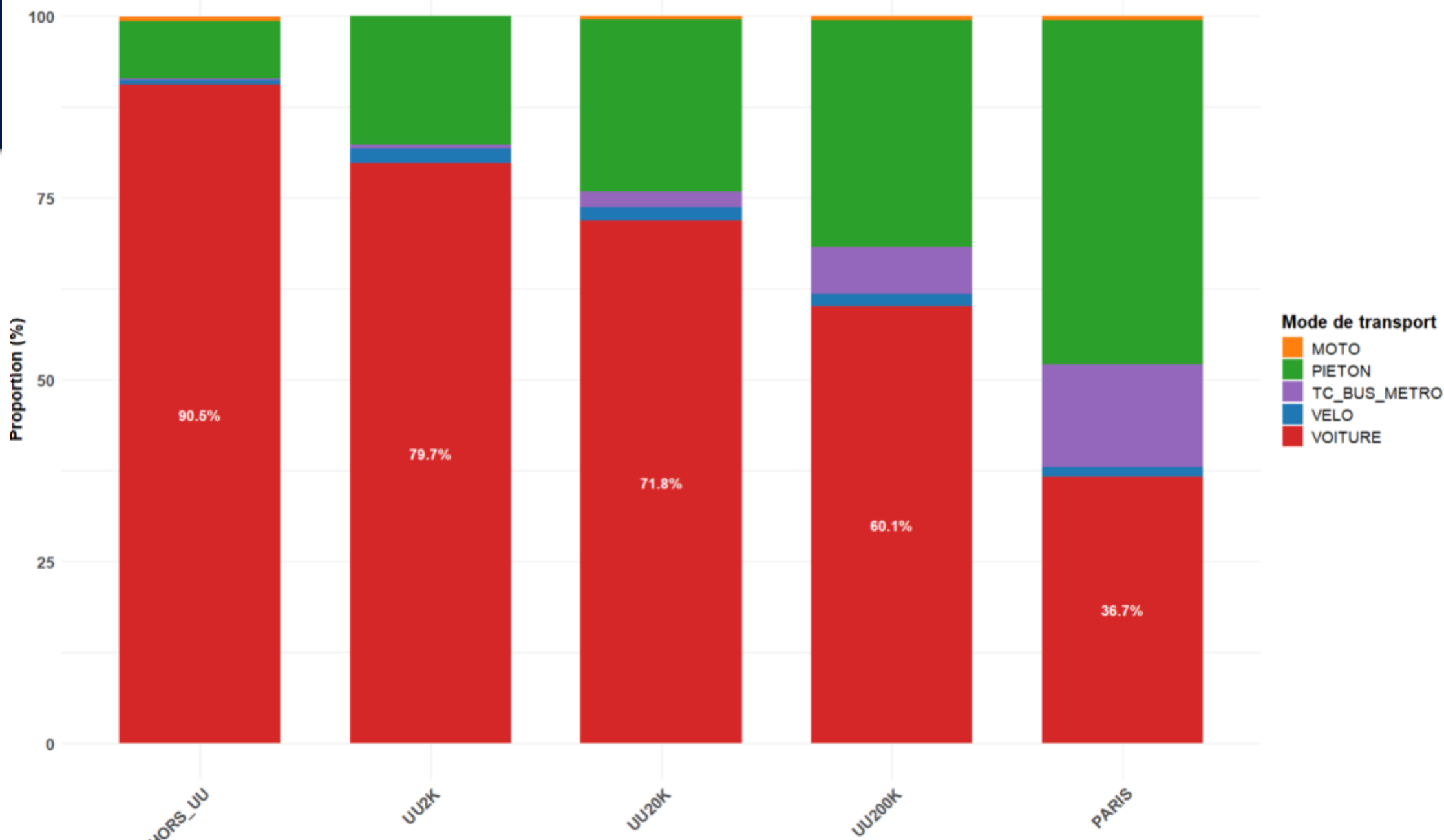
$$C_{social} = C_{privé} + C_{externe}$$

- **$C_{externe}$ = émissions de polluants (CO2/NOX/PM2.5) * valeurs tutélaires**
- $C_{privé}$ = coût monétaire (*frais de déplacement, frais de livraison*) + coût du temps

Estimation du coût externe par colis / déplacement d'achat

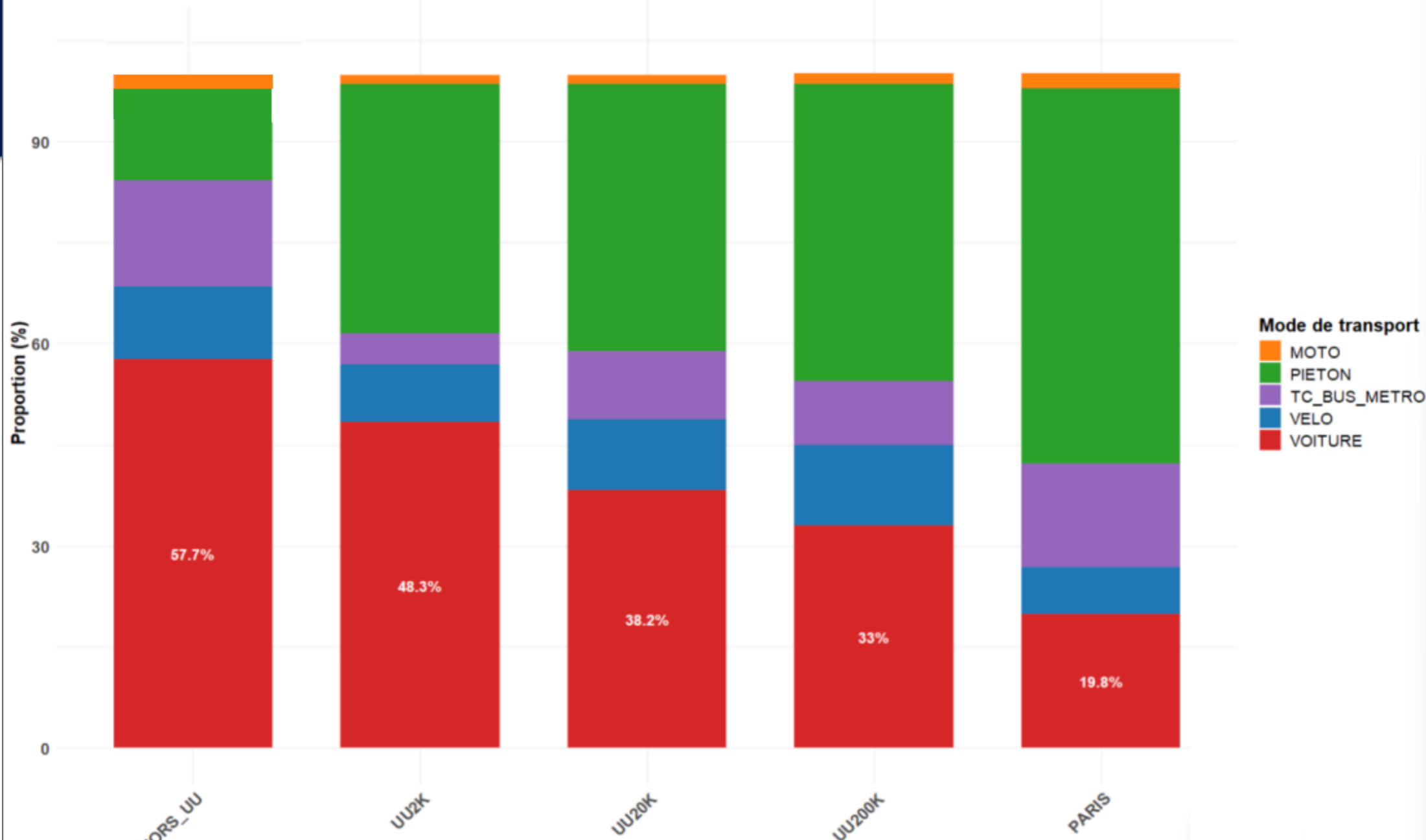
- $C_{externe} = \text{émissions de polluants (CO}_2\text{/NOX/PM}_{2.5}\text{)} * \text{valeurs tutélares}$
- Source des émissions :
 - Emballage du colis
 - Déplacement du consommateur (transport public / voiture / 2RM)
 - Déplacement du véhicule de livraison

Répartition des modes de transport pour les déplacements d'achat en magasin



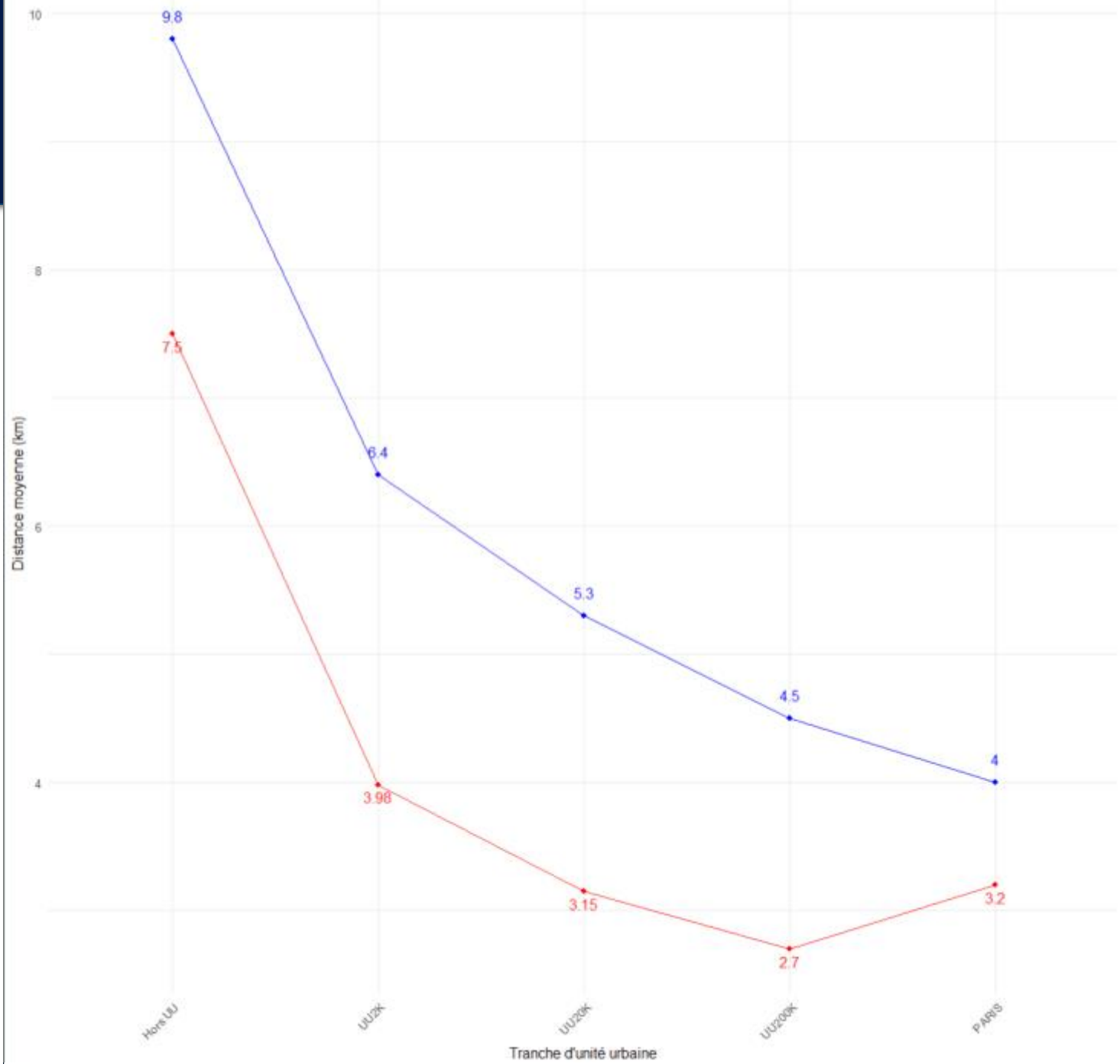
Source : Enquête nationale transport déplacement (2019)

Répartition des modes de transport pour les déplacements de récupération de colis hors domicile



Source : Enquête La Poste, 2022

Distances moyennes en fonction de la tranche d'unité urbaine



Légende

- Distance moyenne par déplacement d'achat en magasin
- Distance moyenne par déplacement de récupération de colis

Distance moyenne par colis (en kilomètres)

Données d'Adrien Beziat basées sur des simulations de tournées

Unité urbaine	Livraison à domicile	Livraison hors domicile
Paris	0.28	0.26
200K	0.38	0.30
20K	0.67	0.65
2K	0.85	0.87
Rural	1.39	1.37

Facteurs d'émission(g/km)

Mode de transport consommateur (HBEFA 4.2)	CO2	Nox	PM2.5
Voiture	150,97	0,571	0,026
Transports publics	499,01	2,87	0,087
Deux-roues motorisés	93,8	0,042	0,030

Emballage (Logiciel « ECEL », ADEME, 2023)	CO2	Nox	PM2.5
Livraison à domicile	605.69	0.974	X
Livraison hors domicile	522.84	0.845	X

VUL (Source : SDES, 2023; CGSP, 2013)	CO2	Nox	PM2.5
Paris	230.21	0.742	0.056
200K	235.32	0.762	0.058
20K	239.00	0.775	0.059
2K	242.24	0.789	0.061
Rural	259.44	0.878	0.072

Emissions moyennes par colis / déplacement d'achat

Unité urbaine	Livraison à domicile			Livraison hors domicile			Achat en magasin		
	CO2(g)	Nox(g)	PM2.5(g)	CO2(g)	Nox(g)	PM2.5(g)	CO2(g)	Nox(g)	PM2.5(g)
Paris	669.96	1.180	0.0159	613.33	1.469	0.0412	460	1.77	0.08
200K	694.30	1.260	0.0222	651.86	1.571	0.0483	593	2.26	0.10
20K	766.95	1.500	0.0404	759.04	1.961	0.0716	742	2.81	0.12
2K	810.44	1.641	0.0515	864.26	2.302	0.0941	923	3.50	0.16
Rural	966.31	2.197	0.1014	1372.69	4.162	0.2021	1452	5.46	0.25

Emissions moyennes par colis / déplacement d'achat

- **Impact de la densité urbaine :**
Les émissions augmentent pour tous les modes de transport dans les zones moins densément peuplées, en raison de distances de trajet plus longues et d'un usage accru de la voiture.
- **Achats en magasin vs modes de livraison :**
Dans les zones très peuplées, les achats en magasin émettent moins que les modes de livraison, sauf pour les émissions de CO2 dans les zones moins densément peuplées
- **Livraison à domicile vs livraison hors domicile :**
La livraison à domicile est moins polluante en milieu rural, tandis que la livraison hors domicile est plus durable dans les zones urbaines denses.

Estimation du coût externe par colis / déplacement d'achat

- $C_{externe} = \text{émissions de polluants (CO}_2\text{/NOX/PM}_{2.5}\text{)} * \text{valeurs tutélaires}$
- Valeurs tutélaires : coefficients monétaires attribués aux émissions de polluants pour en estimer le coût social et économique.

Valeurs tutélaires(€/g) – CGSP, 2013

Unité urbaine	CO2	NOx	PM2.5
Paris	0.00017855	0.0091	1.526553
200K	0.00017855	0.0091	0.508851
20K	0.00017855	0.0091	0.169617
2K	0.00017855	0.0091	0.169617
Rural	0.00017855	0.0091	0.0170208

Coût externe moyen par colis / déplacement d'achat (en €)

Unité urbaine	Livraison à domicile	Livraison hors domicile	Achat en magasin
Paris	0.1546	0.1858	0.2218
200K	0.1467	0.1552	0.1788
20K	0.1574	0.1655	0.1798
2K	0.1683	0.1912	0.2236
Rural	0.1942	0.2864	0.3132

Fonction de coût social

$$C_{social} = C_{privé} + C_{externe}$$

- $C_{externe}$ = émissions de polluants ($CO_2/NOX/PM_{2.5}$) * valeurs tutélaires
- **$C_{privé}$ = coût monétaire (frais de déplacement, frais de livraison) + coût du temps**

Fonction de coût social

$$C_{privé} = \text{coût monétaire (frais de déplacement, frais de livraison)} + \text{coût du temps (temps de déplacement, temps d'attente du colis)}$$

- **Livraison à domicile** : frais de livraison + attente du colis (= délai de livraison x valeur du temps d'attente du colis)
- **Livraison hors domicile** : frais de déplacement + frais de livraison + attente du colis + temps de déplacement
- **Achat en magasin** : frais de déplacement + temps de déplacement

Valeurs socio-économiques pour le calcul des coûts privés

Unité urbaine	Valeur du temps (€/h) ; Source : MTE, 2019	Valeurs du temps d'attente du colis (€/j)
Paris	10.81	0.15
200K	8.37	0.15
20K	8.37	0.15
2K	8.37	0.15
Rural	8.37	0.15

Mode de transport	Coût marginal monétaire (€/veh.km) ; Source : J.-M. Beauvais, 2018
Voiture	0.0982
2RM	0.153
TC	0.1374
Vélo	0
MAP	0

Coût privé moyen par colis / déplacement d'achat (en €)

Unité urbaine	Livraison à domicile	Livraison hors domicile	Achat en magasin
Paris	2.0181	6.1899	3.5993
200K	1.6879	4.5458	2.5633
20K	1.6678	3.8451	2.4530
2K	1.8733	4.5077	2.4862
Rural	1.5901	5.0656	3.0701

Etapes

1. Prédire le nombre d'achats en magasin / à distance des consommateurs en France
2. Estimer le coût social lié aux pratiques d'achat dans le cadre du dernier kilomètre
- 3. Elaborer des scénarios de politiques publiques visant à réduire le coût social**

Elaboration de scénarios visant à réduire le coût social

1. Péage urbain
2. Zone à faibles émissions
3. Augmentation du nombre de point-relais

1. Péage urbain

2. Zone à faibles émissions

3. Augmentation du nombre de point-relais

Scénario de péage urbain

- Objectif : Tester l'impact d'un péage urbain sur les déplacements d'achat en magasin dans l'unité urbaine de Paris
- Source des données : Enquête Mobilité des Personnes (2019)
- Scénario simplifié :
 1. Le péage urbain est considéré uniquement comme une augmentation du coût monétaire des déplacements en voiture
 2. La livraison hors domicile est exclue du scénario actuel.
 3. La congestion n'est pas intégrée à l'analyse.

Structure du scénario de péage urbain

- Nombre initial de déplacements : défini pour chaque mode de transport (voiture, transports en commun, marche, vélo)
- Livraisons à domicile : Supposées initialement à 0.
- Distinctions par mode : distances parcourues pour chaque mode de transport basées sur les données réelles de l'enquête.

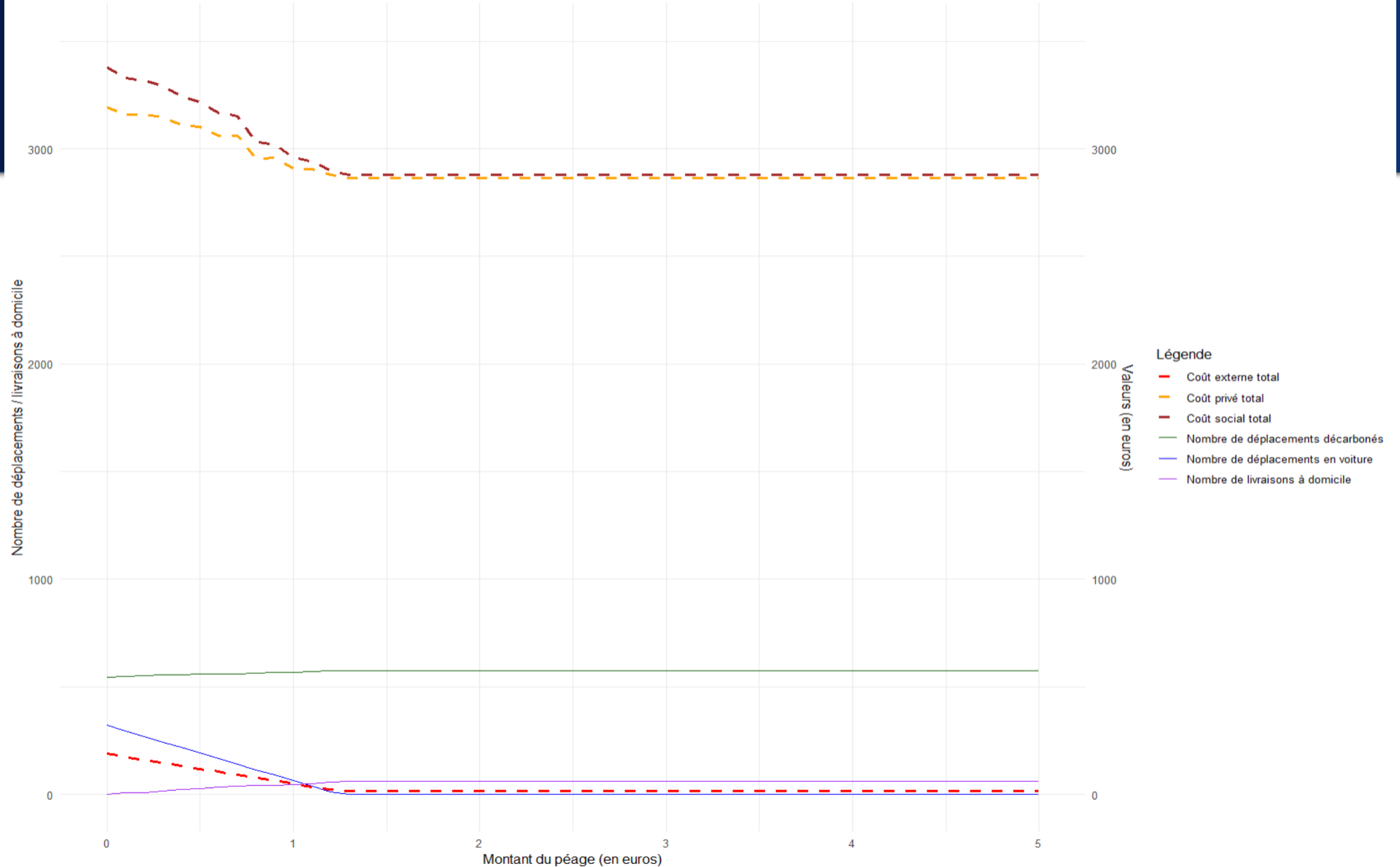
Étapes du scénario de péage urbain

1. Nombre initial de déplacements par mode défini
2. Calcul initial des coûts privés et externes
3. Application du péage
4. Redistribution des déplacements en voiture.
5. Coûts privés et externes recalculés à chaque niveau de péage

Paramètres du scénario de péage urbain

- Plage de péage : de 0 à 5 euros, par incrément de 0.1 euro
- Elasticité prix de la demande pour la voiture : -0.80
- Critères de redistribution en fonction de la distance et du coût minimal

Variation des déplacements et des coûts en fonction du péage urbain



Résultats du scénario de péage urbain

- Réduction des déplacements en voiture : Le nombre de voitures atteint zéro à un péage de 1,30 euros.
- Report vers des modes alternatifs :
 - Transports en commun (TC) : +29 déplacements (+23,77%)
 - A pied (MAP) : + 29 déplacements (+7,04%)
 - Livraisons à domicile : +62 livraisons
- Impact sur les coûts :
 - Coût privé : -10,26%
 - Coût externe : - 92,45%
 - Coût social : -14,81%

Merci pour votre attention!