

# MODÉLISATION SOCIOÉCONOMIQUE DU POTENTIEL DE LA CYCLOGISTIQUE

Lundi 9 décembre

Adrien Béziat  
François Combes  
Martin Koning  
Antoine Robichet

# But de l'étude

---

Pour les segments colis B2B/B2C, développer et calibrer un modèle visant à identifier le mode de livraison le plus approprié selon :

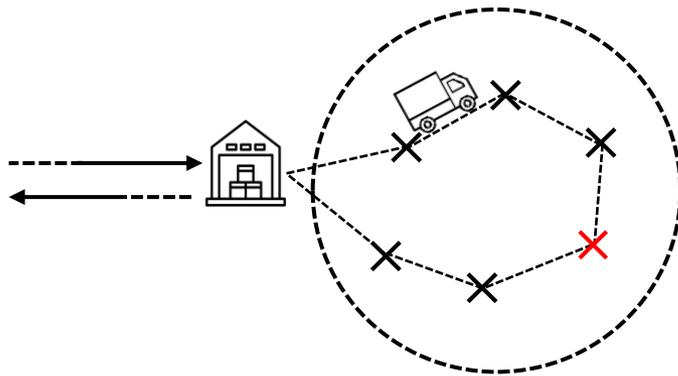
- Les points de vue des acteurs (transporteurs-logisticiens & Etat)
- Les caractéristiques des territoires (vitesse, densité de clients)
- Les caractéristiques opérationnelles (poids des colis, distance des entrepôts, ...)

Réaliser des simulations questionnant l'impact de plusieurs politiques sur le développement potentiel de la cyclologistique :

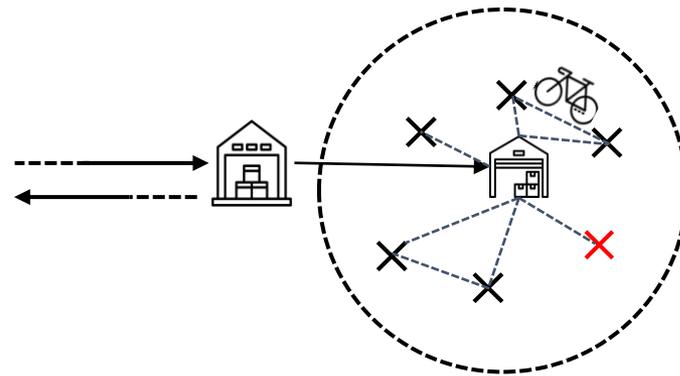
- Aide au financement de microhubs
- Apaisement des centres urbains (zones 30, zones de rencontre...)
- Subvention (ou taxation) des véhicules
- Infrastructures (pistes cyclables, places de stationnement...)

# Le contexte

Opérations par VUL\* (thermique ou électrique)



Opérations par vélo-cargo



Rem : Pour les vélo cargos (électriques), on suppose qu'un PL thermique alimente un microhub localisé dans le centre

# Total Costs of Ownership (TCO) et Total Social Costs (TSC)

---

- Pour un nombre donné de livraisons, on calcule pour les 5 types de véhicules :
  - Le TCO : somme des dépenses actualisées d'investissements (nettes des valeurs résiduelles) et des dépenses annuelles d'exploitation (énergies, travail, maintenance)
  - Le TSC : somme du TCO, des coûts externes (congestion, CO2, polluants locaux, bruit, accidents, bénéfices santé) et du solde des finances publiques (subventions, taxes sur les énergies, usure des routes)
  - Meilleure option pour les acteurs privés, celle avec le plus faible TCO
  - Meilleure option pour l'Etat, celle avec le plus faible TSC
- Remarque : le TCO inclut les bornes de recharge pour les VUL-E et les PL-E ainsi que les coûts de location et d'approvisionnement du microhub pour les VC-E

# TCO et TSC

- Pour chaque type de véhicules, on calcule :

$$TCO_j = n_j^V p_j^V + \sum_{t=1}^N \frac{(n_j^V d_j (e_j p_j^e + p_j^m) + t_j n_j^V p_j^L) n^y + n_j^V p_j^I}{(1+r)^t}$$

$$TSC_j = TCO_j + \sum_{t=1}^N \frac{p^G GHG_{tj} + n^y d_{jt} (p^C + p^L + p^N) + \alpha (n_{jt}^V s_j^V + n^y d_{jt} p^p - n^y d_{jt} \tau_j^e)}{(1+r)^t}$$

- Meilleure option pour acteurs privés (Etat) avec le TCO (TSC) le plus faible
- Remarque : le TCO inclut les investissements (+ valeurs résiduelles) dans les bornes de recharge ainsi que les coûts de location-approvisionnement du microhub ; Le TSC compte également les émissions de CO2 en cycle de vie, l'accidentologie et les bénéfices santé des modes actifs ; On considère l'impact sur les finances publiques comporte le COFP

# Prise en compte des contraintes opérationnelles

---

- Il ne faut pas le même nombre de VC, de PL ou de VUL pour répondre à un nombre donné de livraisons, ce qui impacte logiquement le TCO et le TSC
- Les trois principales contraintes qui déterminent le nombre livraisons durant une tournée, et donc la taille de la flotte pour une demande donnée, sont :
  - Les capacités d'emport des véhicules ;
  - Leurs autonomies respectives ;
  - La durée d'une journée de travail.
- On exprime ces trois contraintes en fonction de plusieurs paramètres (poids des colis, distances inter-clients, vitesses, ...) et on regarde laquelle est la plus « forte »

# Taille de flotte (n\_v)

---

- Pour une demande totale adressée à un transporteur, on doit avoir :

$$N^{TOT} \leq n^v n^t n^p n^c \qquad n^v \geq \frac{\widehat{N^{TOT}}}{n^t n^p n^c}$$

- La taille de la flotte dépend donc de la taille des tournées (n\_p)
- Cette variable est déterminée par la contrainte la plus « forte » :

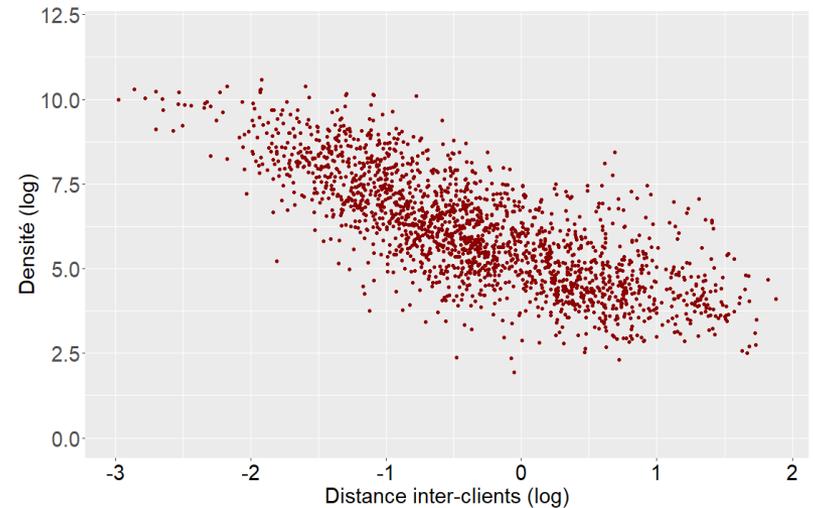
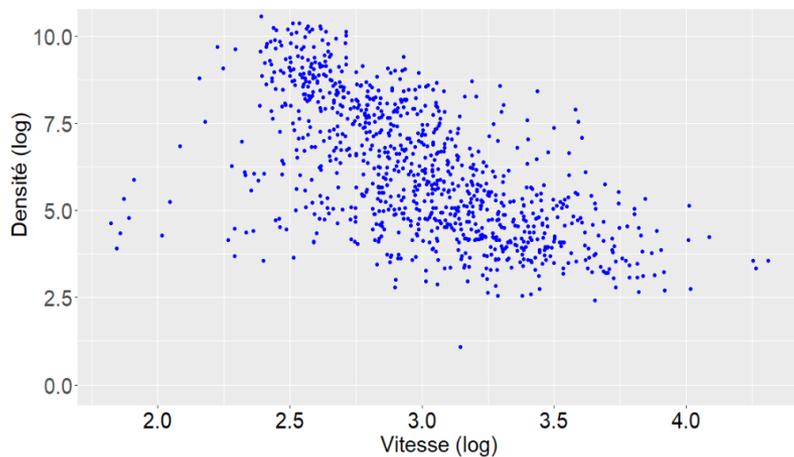
Capacité :  $pn^p n^c \leq \emptyset K \leftrightarrow n_K^p = \left\lfloor \frac{\emptyset K}{pn^c} \right\rfloor$

Autonomie :  $2d^a + d^i(n^p - 1) \leq A \leftrightarrow n_A^p = \left\lfloor \frac{A - 2d^a}{d^i} \right\rfloor + 1$

Temps de travail :  $2t^a + n_H^p n^c t^c + (n_H^p - 1)t^i \leq H \leftrightarrow n_H^p = \left\lfloor \frac{H - 2t^a + t^i}{n^c t^c + t^i} \right\rfloor$

# Prise en compte des différences spatiales

Plusieurs variables qui déterminent la taille des tournées sont fonction de la densité des aires urbaines : vitesses (graphique de gauche), distances d'approche ou inter-clients (droite), prix de location du microhub, nombre de colis livrés par arrêt



# Niveaux de densité retenus

- Le choix est ici guidé par la typologie officielle en socioéconomie des transports, qui définit 4 classes de densité pour les espaces urbains (Fiches-outils de la DGITM)
- Pour simplifier, on passe de 4 classes à 4 niveaux de densité :

- Urbain diffus – 250 hab/km<sup>2</sup> : Villeneuve-sur-Lot, Narbonne, Saint-Leu...

- Urbain – 750 hab/km<sup>2</sup> : Rambouillet, Carpentras, Quimper...

- Urbain dense – 2 500 hab/km<sup>2</sup> : Sucy-en-Brie, Pau, Vaulx-en-Velin...

- Urbain très dense – 15 000 hab/km<sup>2</sup> : Paris et proche couronne



# Démarche calculatoire

---

- On fixe le nombre de colis que doit livrer une entreprise (750/jour) et on suppose 4 poids moyens différents (1kg, 5kg, 20kg et 50kg)
- Pour les 4 niveaux de densité, on estime les vitesses (d'approche et inter-clients), les distances (d'approche et inter-clients), le nombre de colis livrés/arrêt et le prix de location des microhubs
- En croisant ces informations avec l'autonomie des véhicules, leurs capacités d'emport et en supposant une durée maximale de travail de 8h/jour, on détermine la taille des tournées, donc la taille de flotte, pour les 5 modes considérés
- On mobilise les paramètres socioéconomiques pour calculer les TCO-TSC
- On simule des politiques publiques en faisant varier certains paramètres

# Sources des données

---

- Caractéristiques techniques et financières des véhicules : DGITM (*Feuille de route décarbonation véhicules lourds*) et enquête les Boites à Vélo (BàV)
- Emissions de CO2 : MTE, étude E4T (IFPEN-Ademe), enquête BàV
- Autres coûts externes : études de D. Rouchaud (CGDD) et nos estimations pour congestion / accidents / bénéfices santé des VC-E
- Relations économétriques : données Colissimo (pour les distances et le nombre de colis/arrêt), Enquête Ménages Déplacements (pour les vitesses), enquête BàV (pour la relation entre la taille de la flotte-taille du microhub et pour le prix de location du microhub selon la densité)
- Les coûts sont exprimés en euros 2022

# Quelques données utilisées

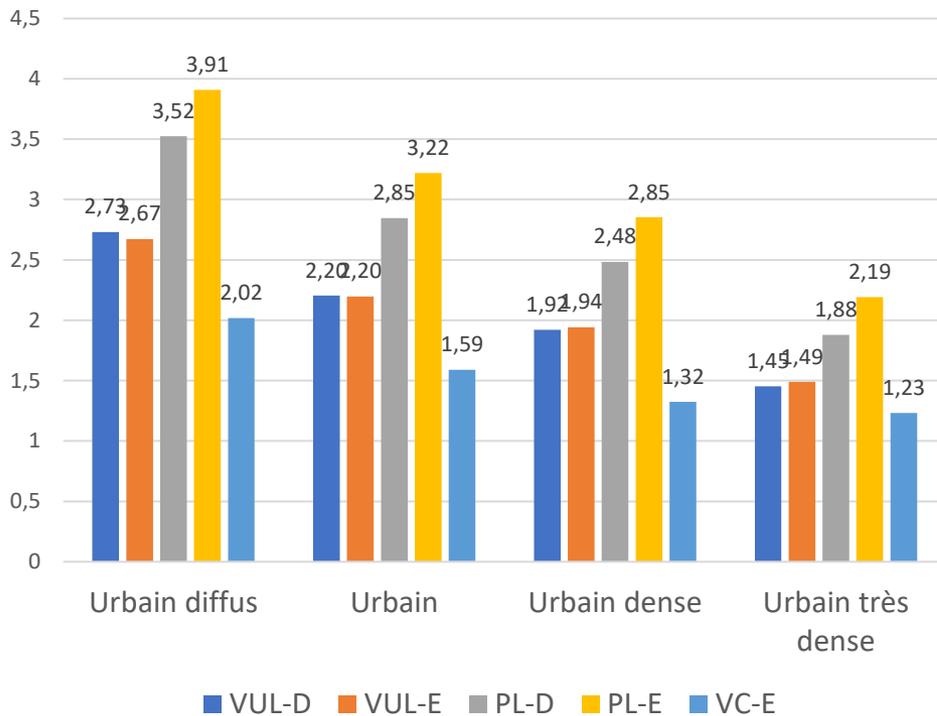
---

	VUL-D	VUL-E	PL-D	PL-E	VC-E
<b>Charge utile (kg)</b>	1200	1100	6500	6250	150
<b>Autonomie (km)</b>	>1000	150	>1000	220	60
<b>Puissance de la batterie (kWh)</b>	n.a.	50	n.a.	160	0,25
<b>Prix d'achat du véhicule (€)</b>	33600	57120	74400	186000	5050
<b>Dont prix de la batterie (€)</b>	0	19040	0	62000	500
<b>Subvention à l'achat (€)</b>	0	4000	0	20000	1000
<b>Prix borne de recharge (€/veh)</b>	0	5000	0	27500	0
<b>Consommation des véhicules (#/km)</b>	0,114	0,420	0,180	0,600	0,011
<b>Prix TTC des énergies (€/#)</b>	1,433	0,164	1,273	0,164	0,164
<b>Salaire des chauffeurs (€/h)</b>	17,5	17,5	20,7	20,7	15,0
<b>CO2 usage (kg/km)</b>	0,361	0,021	0,571	0,030	0,001
<b>CO2 véhicule (kg)</b>	7133	12626	30012	41405	2425

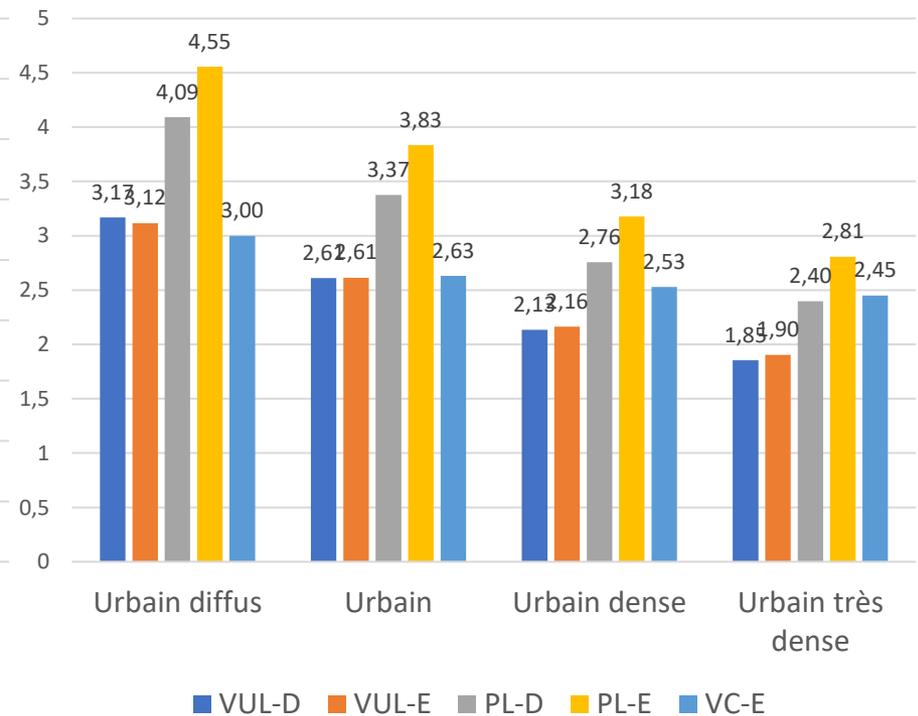
Taux d'actualisation privé de 6% sur 5 ans ; 136 €/tonne de CO2

# TCO - pour les petits colis (BtoC)

## Coût de livraison d'un colis de 1 kg

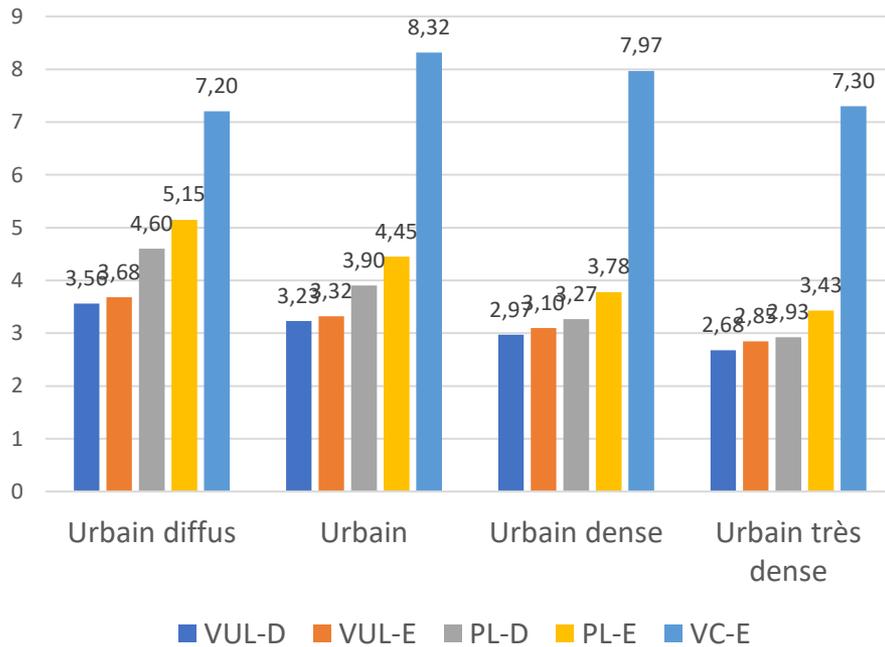


## Coût de livraison d'un colis de 5 kg

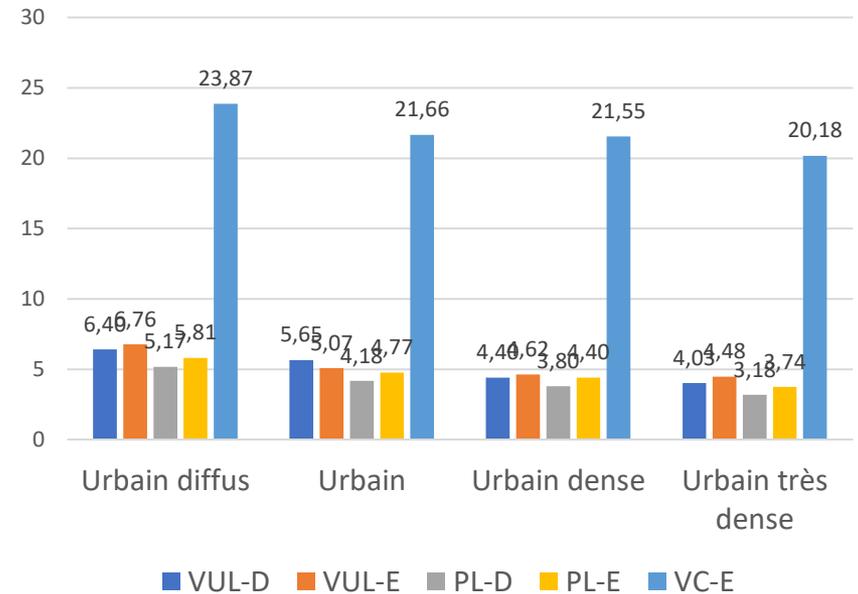


# TCO - pour les gros colis (BtoB)

## Coût de livraison d'un colis de 20 kg



## Coût de livraison d'un colis de 50 kg



# Point de vue des opérateurs - synthèse

---

- PL-D pertinents pour les colis de 50kg, pour tous les espaces (PL-E jamais pertinents en l'état) : flotte de 15 véhicules et coût moyen de 4,1€/colis
- VUL pertinents pour les colis de 5 à 20 kg, pour presque tous les espaces, avec des performances des VUL-D légèrement meilleures (sauf pour l'urbain diffus car économies d'énergie avec les VUL-E pour l'approche) : flotte de 14 véhicules et 2,8€/colis
- VC-E + microhubs pertinents pour les colis de 1 kg, pour tous les espaces, mais aussi pour les colis de 5 kg dans l'urbain diffus (idem, économies d'énergie pour la phase d'approche)

# Résultats opérationnels a priori cohérents

---

- D'après notre modèle, un VUL transportant des colis de 1 à 5 kg dans un espace urbain très dense fait, en moyenne, une tournée de 35 km, 68 arrêts et livre 95 colis durant cette tournée
- Un VC-E transportant des colis de 1 kg dans l'urbain très dense fait une tournée de 15 km, 72 arrêts et il livre 93 colis
- Un PL-D transport des colis de 20 à 50 kg, dans tous les espaces, fait en moyenne une tournée de 60 km, 42 arrêts pour 55 colis livrés
- Chiffres conformes avec des dires d'experts (ColisActiv') ou des données disponibles (ETMV, Colissimo, littérature académique)

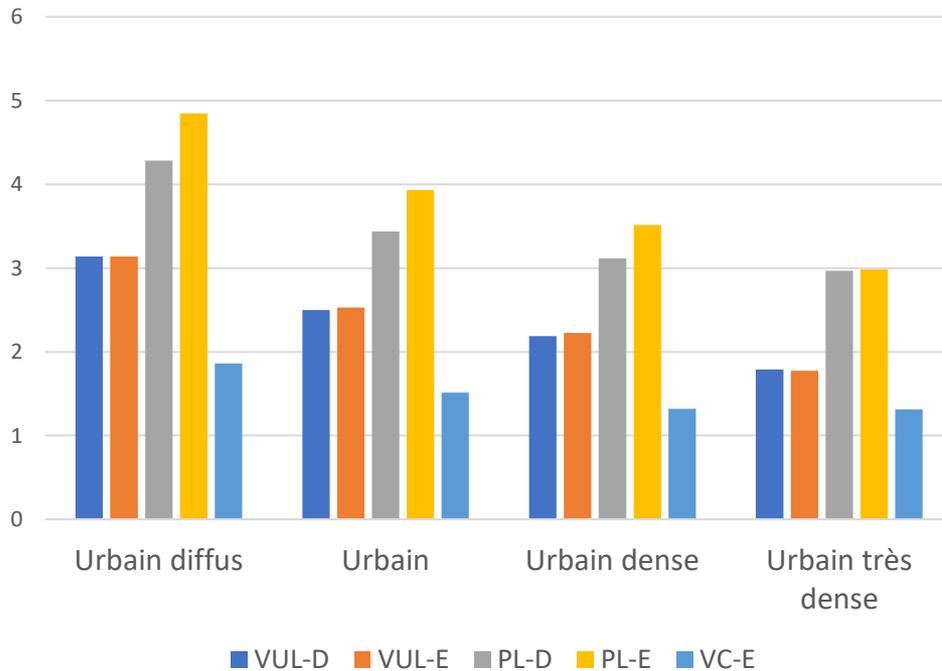
# Des résultats « trop » favorables aux VC-E ?

---

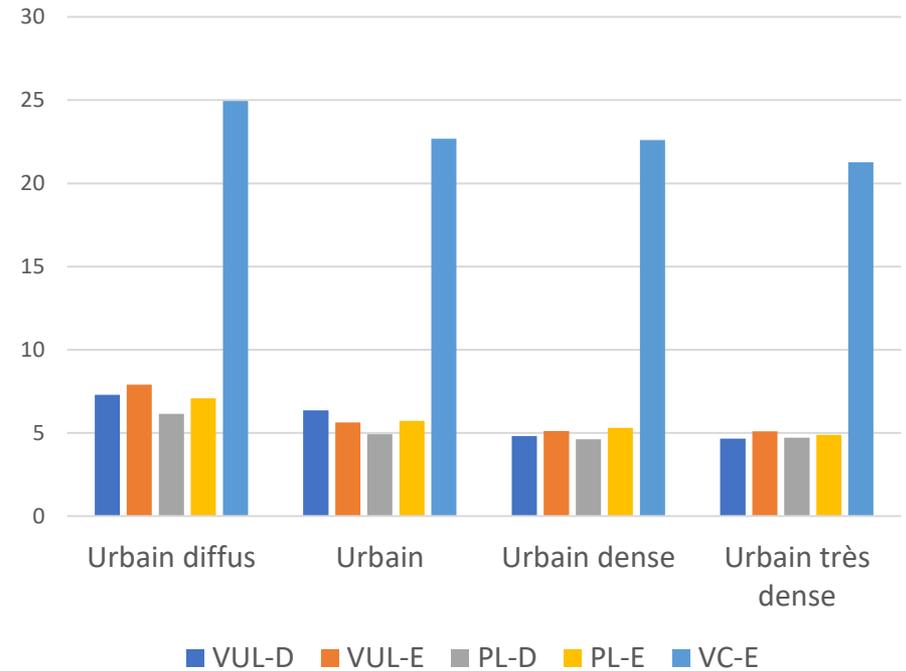
- La supériorité des VC-E pour les petits colis, dans tous les espaces urbains, peut (et doit) être questionnée
- On considère un coût moyen entre 12€ et 21€ / m<sup>2</sup>, selon le niveau de densité, pour le microhub (la taille du microhub dépend du nombre de VC-E nécessaire)
- Pistes d'améliorations à venir :
  - Prise en compte du coût complet d'approvisionnement des microhubs (actuellement, on ne considère pas l'achat du PL-D)
  - Prise en compte des coûts de manutention et d'encadrement des livreurs
  - Analyser si les données BàV sur les prix de location des microhubs relèvent ou non d'opportunités plus que de vraies conditions de marché

# TSC – pour les très petits et les très gros colis

## Coût social pour un colis de 1 kg



## Coût social pour un colis de 50 kg



# Synthèse sur le TSC

---

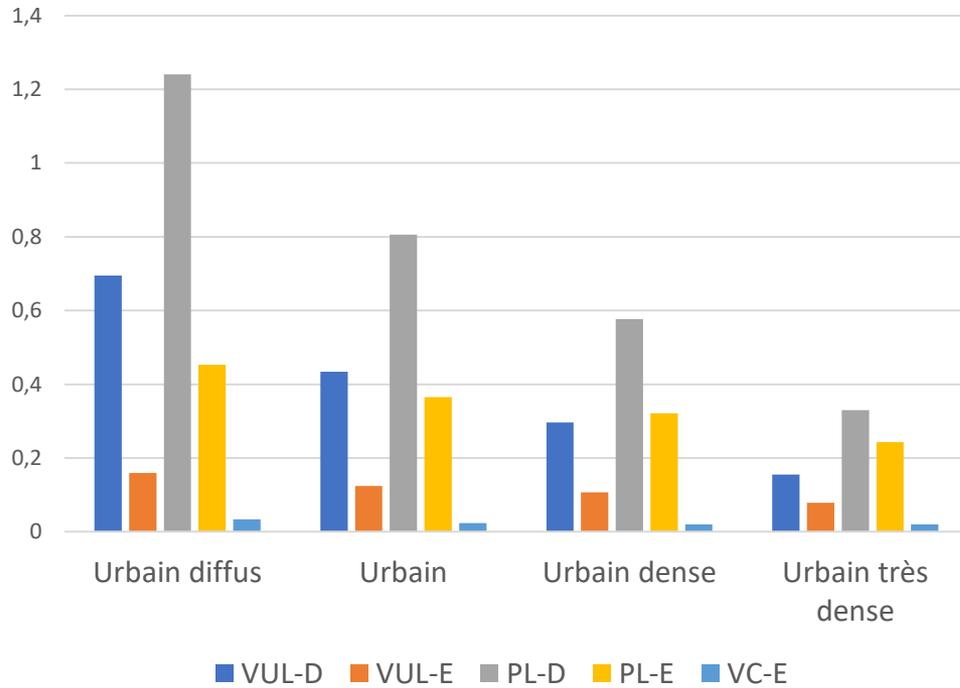
- Pour les très petits colis, l'Etat devrait privilégier (partout) les VC-E
- Pour les très gros colis, l'Etat devrait privilégier les PL-D et parfois les VUL-D
- Les VUL-E ne sont pas nécessairement préférables aux VUL-D car les bénéfices environnementaux sont annulés par les pertes fiscales

## Remarques :

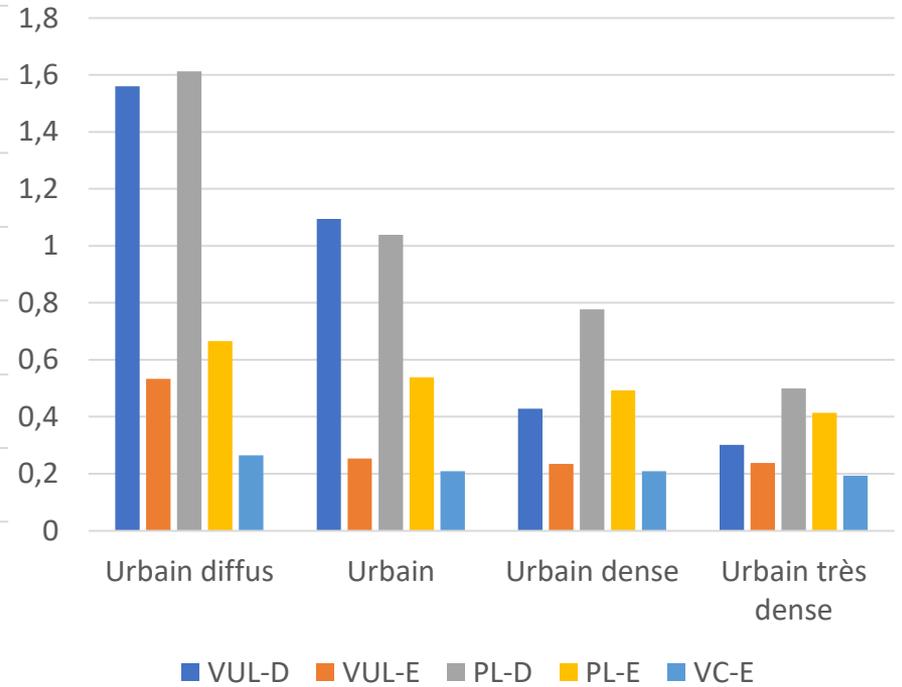
- Le TCO compte pour 88% du TSC en moyenne
- En moyenne,  $TSC = 1,15 \times TCO$  (+2% pour les VC-E et +30% pour les PL)
- Les coûts environnementaux = 6% du TSC des veh. diesel (<1% pour VE)
- Pour les VC-E, les bénéfices santé sont 3 fois supérieurs aux coûts externes (environnementaux, de congestion et d'accidentalité)

# Bilan CO2

## CO2 (kg) par colis de 1 kg



## CO2 (kg) par colis de 50 kg



# Scénarios testés (in progress)

---

- S1 : Apaisement des centres villes avec baisse de la vitesse de circulation des VUL et des PL de 25%

*Le coût moyen de livraison d'1 colis augmente de 17% pour les VUL*

- S2 : Soutien à l'achat des VC-E avec subvention à 2500€ (au lieu de 1000)

*Le coût moyen de livraison d'1 colis diminue de < 1% pour les VC*

- S3 : Aide aux microhubs avec subvention de 50% du prix au m<sup>2</sup>

*Le coût moyen de livraison d'1 colis diminue de 1% pour les VC en moyenne, de 3% sur les segments 1 et 5 kg*

- S4 : Investissements dans les pistes cyclables avec hausse de la vitesse des VC-E et routes plus directes

*Le coût moyen de livraison d'1 colis diminue de 1% pour les VC en moyenne, de 6% sur les segments 1 et 5 kg*

Remarque : le facteur travail compte pour 90% du TCO pour les VC-E, principal levier d'action !

# Des questions ?

---

