



LABORATOIRE  
AMÉNAGEMENT  
ÉCONOMIE  
TRANSPORTS

TRANSPORT  
URBAN PLANNING  
ECONOMICS  
LABORATORY

# Environmental and economic evaluation of a low emission zone for urban freight transport

*Séminaire SPLOTT*

*Lundi 8 mars 2021*

**Ibrahim SAVADOGO\* & Mathieu GARDRAT\***

*\* TRANSPORT URBAN PLANNING ECONOMICS LABORATORY – LYON, FRANCE*



# CONSTATS

- ❑ En 2013, on estimait que 40% de population du centre de Lyon était exposée pendant 69 jours/an à un dépassement du seuil réglementaire de 50 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>10</sub>, pour une limite fixée à maximum 35 jours/an (SYTRAL, 2017).
- ❑ Parmi toutes les émissions dues au trafic urbain, les mouvements de marchandises seraient responsables d'environ 15 % des émissions de gaz à effet de serre (GES), ainsi que d'une grande partie des émissions de polluants : 40 % des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et 50 % des particules (PM) (CERTU, 2013).
- ❑ Ces dernières années, les acteurs des villes (publics et privés) ont pris de plus en plus conscience de la nécessité d'agir sur le TMV afin de réduire les effets négatifs du transport : traduite dans les PDU (Ex : celui de Lyon SYTRAL 2017)
- ❑ Ce défi mobilise la réflexion des chercheurs et des experts en logistique urbaine autour de la recherche de solutions pour y parvenir: les Zones à faibles Emissions (ZFE) sont parmi les mesures plus implémentées.

# CONSTATS

- ❑ On compte plus de 200 ZFE à travers l'Europe (Mudway et al., 2019; Sadler Consultants Ltd, 2019; Settey et al., 2019).
- ❑ Les résultats atteints par ces ZFE montrent un écart entre les prévisions des évaluations ex ante et les réalisations des évaluations ex post.
- ❑ D'un cas à un autre selon les caractéristiques de chacune d'elles : type de transport concerné, sévérité des normes, taille du périmètre.
- ❑ Dans la plupart des cas, les évaluations ex ante se sont heurtées à la difficulté liée à l'identification du parc de véhicules concernés par la mesure et surtout l'usage qui en fait : replis sur les données du parc immatriculé
- ❑ Dans d'autres cas, les évaluations ex ante et ex post font beaucoup plus de place aux données recueillies à partir des stations de contrôle de la pollution (avant et après) ou le long d'axes routiers majeurs : l'usage des véhicules et les pratiques des acteurs éludés ou relégués au second plan.

# CONSTATS

- ❑ La connaissance assez précise du parc de véhicules est un facteur déterminant de la précision de l'évaluation de l'impact potentiel de la ZFE (André et al., 2018).
- ❑ L'exploitation des données d'enquêtes TVM n'offre t elle une opportunité d'évaluation *ex ante* plus fiable de l'impact environnemental potentiel d'une ZFE ?
- ❑ Puisque la ZFE s'inscrit comme une mesure de logistique urbaine durable, quel peut être son impact économique et son bilan économique-environnemental ?

→ Question :

***Quels sont les impacts environnementaux et économiques d'une ZFE ?***  
*(Mesurer à partir d'outils alimentés et calibrés à partir des données d'ETMV)*

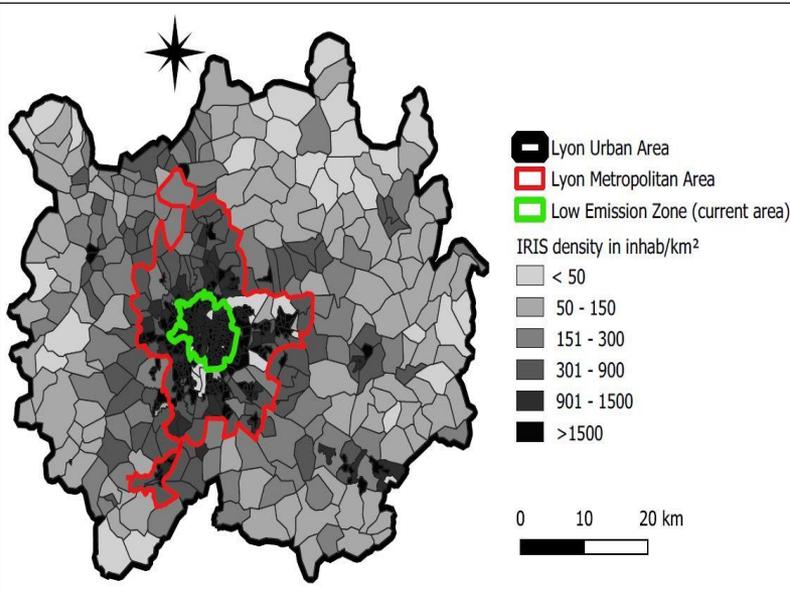
# REVUE DE LITTERATURE

- ❑ Les premières ZFE ont été mises en place en 1996 en Suède, dans les villes de Stockholm, Göteborg et Malmö (Holman et al., 2015).
  
- ❑ Evaluations à partir de données recueillies à partir de plusieurs stations de contrôle :
  - ❑ Jiang et al. (2017) mesurent l'impact des ZFE mises en place en Allemagne depuis 2008
  - ❑ Ellison et al. (2013) mesurent les impacts de la ZFE mise en place en 2008 à Londres
  
- ❑ Evaluation à partir de simulation :
  - ❑ Dias et al. (2016) simulent l'impact environnemental d'une ZFE concernant les voitures particulières (VP)
  
- ✓ On remarque un écart entre les impacts prédits ex ante et les résultats obtenus ex post. Sur le cas de la ZFE de Londres, alors que Carslaw and Beevers (2002) prédisaient un impact significatif sur la réduction de la concentration de NO<sub>2</sub>, les mesures réalisées par Ellison et al. (2013) aboutissent au résultat d'une variation non significative des concentrations de NO<sub>x</sub> : l'évaluation ex ante est un exercice assez délicat de par les hypothèses sur lesquelles elle repose, mais aussi et surtout de par les données utilisées, ou la non-prise en compte de certaines évolutions.

# MÉTHODOLOGIE

## Description de la ZFE de Lyon

Fig 1. Study scope : Lyon Urban Area



Tab 1. Socio-economic data

	AUL	Périmètre ZFE	Périmètre Grand Lyon
<b>Superficie</b>	3,325	62	537
		1.9%	16.1%
<b>Population</b>	1,916,149	684,185	1,370,676
		35.7%	71.5%
<b>Densité de Population</b>	576	11,028	2,554
		-	-
<b>Emplois</b>	1,267,129	550,600	992,638
		43.5%	78.3%
<b>Densité d'Emplois</b>	381	8,875	1,850
<b>Nombre d'Etablissements</b>	275,687	113,182	202,696
		41.1%	73.5%
<b>Nombre de Mouvements</b>	1,238,711	433,374	894,829
		35%	72.2%

La ZFE : « Plan Oxygène » de la métropole de Lyon visant l'amélioration de la qualité de l'air → NO<sub>x</sub> et PM (SYTRAL, 2017).

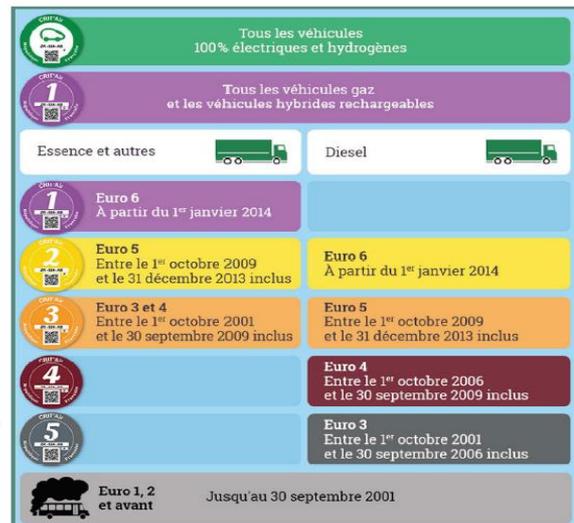
l'interdiction d'accès, de circulation et de stationnement dans la ZFE est permanente 24h/24 et 7jours/7

### Normes de la ZFE de Lyon

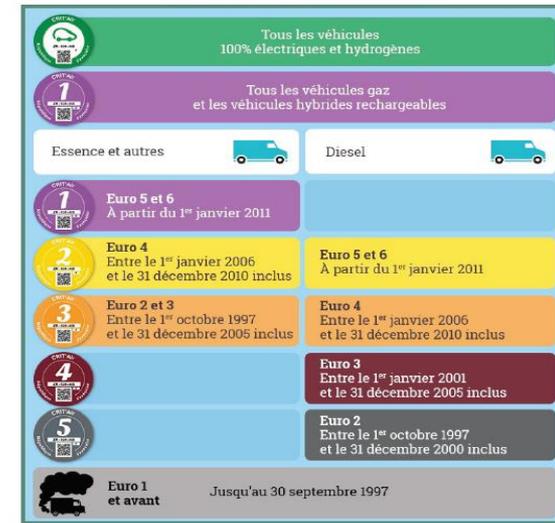
Janvier 2021 : Critair 1 et 2

Aide Financière : 1 million d'euro

### Poids lourds



### Véhicules utilitaires légers



# MÉTHODOLOGIE

## Cadre méthodologique

Cadre méthodologique en 3 étapes :

1. *Simulation de la demande, de l'offre et des conditions de transport*

2. *Détermination des impacts environnementaux et économiques :*

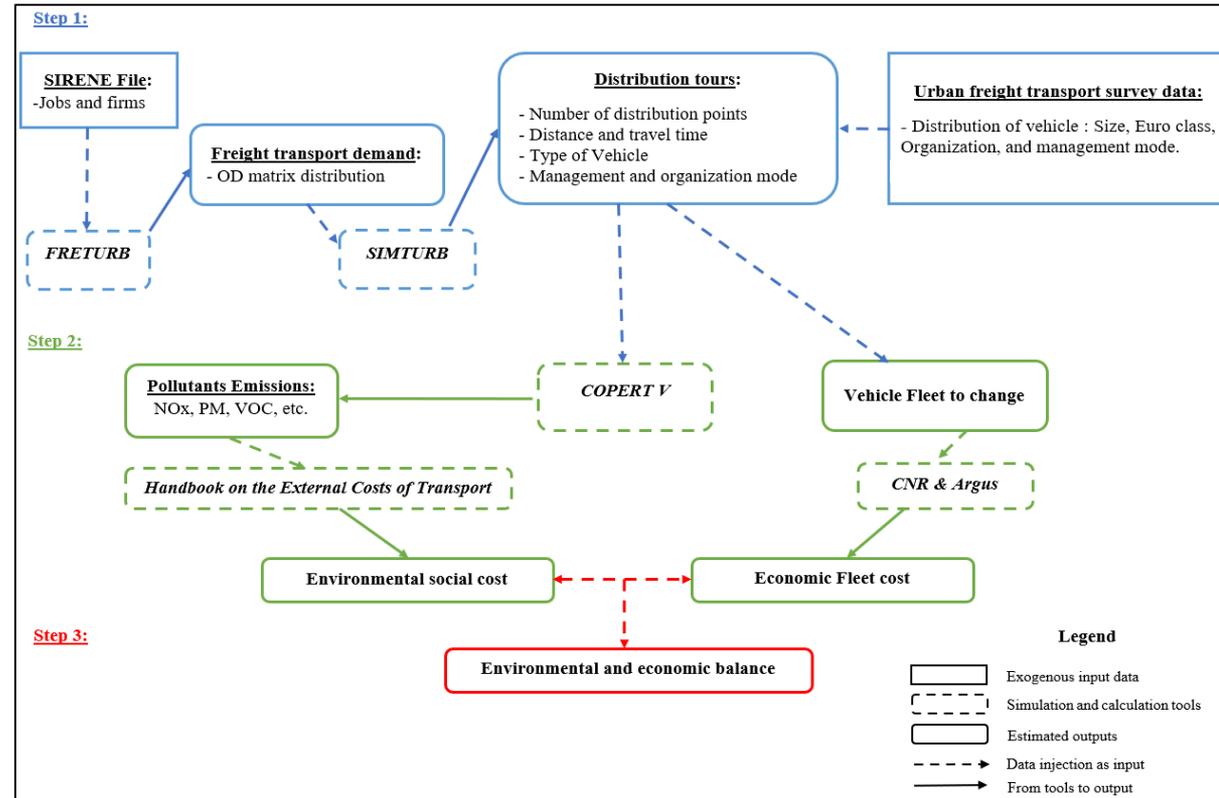
- Quantité de polluants *et* Effectifs de véhicules à changer
- Coût social environnemental *et* Coût économique changement de flotte

3. *Bilan économique-environnemental de la ZFE :*

variation Coût social environnemental  
vs

variation Coût économique changement de flotte

Fig 2. Methodological Framework



# MÉTHODOLOGIE

## Construction des scénarios

A partir de cette synthèse deux grands groupes de scénarios ZFE se dégagent:

**Groupe 1:** Ces scénarios implique un pur respect des normes par les acteurs à travers le renouvellement du parc non conformes, sans changements de leur organisation : *Action 1.1* à *Action 1.3*

**Groupe 2 :** ces scénarios implique des changements organisationnels de la part des acteurs, en plus d'un renouvellement partiel du parc pour répondre aux exigences de la ZFE : *Actions 2.1* à *3.2*.

\* Les changements organisationnels seront essentiellement du transfert de CP vers du CA.

\* Il y a également la possibilité de mutualisation des moyens de transport entre acteurs ne pouvant pas immédiatement renouveler leur flotte

**Table 2.** Synthèse des réactions des acteurs vis à vis de la ZFE de Lyon  
Source : Elaboration des acteurs à partir d'entretiens semi-directifs

	P1: D'accord avec la mesure	P2: Pas d'accord avec la mesure	P3: D'accord avec la mesure et suggère un durcissement des normes
C1: Peut tout changer	<u>Action 1.1</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Renouvelle tout</li> </ul>	<u>Action 1.2</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Renouvelle tout</li> </ul>	<u>Action 1.3</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Renouvelle tout peu importe les normes</li> </ul>
C2: Ne peut rien changer	<u>Action 2.1</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Transfère tout vers le CA</li> </ul>	<u>Action 2.2</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Transfère tout vers le CA</li> <li>Transfère en partie vers le CA - Réaffecte le parc neuf vers le centre-ville</li> </ul>	<u>Action 2.3</u> -
C3: Peut changer en partie	<u>Action 3.1</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Transfère en partie vers le CA - Renouvelle en partie - Réaffecte le parc neuf vers le centre-ville</li> </ul>	<u>Action 3.2</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Transfère en partie vers le CA - Renouvelle en partie - Réaffecte le parc neuf vers le centre-ville</li> </ul>	<u>Action 3.3</u> -

### Scénarios de cette étude : Groupe 1

- Scen 1 :** Périmètre et normes ZFE (Euro VI pour PL et Euro V et VI pour les VUL) tels que définie par la métropole de Lyon.
- Scen 2 :** Périmètre ZFE tel que défini par la métropole de Lyon et normes durcies (Euro VI pour VUL et PL)
- Scen 3 :** Périmètre ZFE élargi aux limites du Grand Lyon et normes telles que définies par la métropole de Lyon (Euro VI pour PL et Euro V et VI pour les VUL)
- Scen 4 :** Périmètre ZFE élargi aux limites du Grand Lyon et normes durcies (Euro VI pour VUL et PL)

# MÉTHODOLOGIE

## DONNÉES : Caractérisation du parc de transport de marchandises en ville

Choix d'utiliser les données les plus récentes sur le transport de marchandises en ville : ETMV Bordeaux en 2013 (Toilier et al., 2015). Cette enquête a porté sur 1272 établissements

Caractérisation du parc suivant un ensemble de critères : la taille du véhicule, l'âge, le mode de gestion (compte d'autrui, compte propre destinataire et compte propre expéditeur) et le mode d'organisation (trace directe ou tournée).

### Hypothèses d'étude :

- **H1** : la taille et l'âge d'un véhicule déterminent l'usage qui en est fait (Allen et al., 2018; Browne et al., 2010; Rizet, 2018).
- **H2** : la structure par âge du parc de véhicules est restée la même entre 2013 et 2020.
- **H3** : Tout le parc est au diesel : Les données ETMV montrent que pour les VUL, 98% des distances parcourues sont effectuées en diesel, 1.6% en essence et 0.4% en autre (électrique, hybride ou GNV), et que 100% des distances parcourues par les PL sont en diesel.

**Tab 2.** Tests d'indépendance entre les différentes variables

	<b>Khi 2</b>	<b>Valeur critique</b>	<b>Décision</b>
<b>Age vs Taille du véhicule</b>	99.78	76.15 (0.01;50)	Rejet de H0
<b>Age vs Mode de gestion</b>	122.5	76.15 (0.01;50)	Rejet de H0
<b>Age vs Mode d'organisation</b>	89.92	44.31 (0.01;40)	Rejet de H0
<b>Mode de gestion et mode d'organisation</b>	234.68	9.21 (0.01;2)	Rejet de H0

Source : Calculs des auteurs à partir des données de l'ETMV Bordeaux 2013

# MÉTHODOLOGIE

## Données : Caractérisation du parc de transport de marchandises en ville

**Tab 2.** Caractéristiques du parc de véhicules en 2021 : distribution des normes Euro selon la taille du véhicule, le mode de Gestion et le mode d'organisation.

Véhicule	MG	MO	Euro VI	Euro V	Euro IV	Euro III	Euro II	Euro I	Euro 0
<b>VUL</b>	CA	TD	0.8%	0.4%	-	-	-	-	-
		Tour	24.6%	12.5%	1.2%	-	-	-	-
	CPD	TD	9.2%	4.7%	1.0%	0.6%	-	0.4%	-
		Tour	2.3%	1.2%	0.2%	0.4%	-	-	-
	CPE	TD	7.0%	3.5%	1.2%	0.2%	-	0.2%	-
		Tour	16.5%	8.4%	2.9%	-	0.2%	0.2%	-
<b>Porteur</b>	CA	TD	4.4%	1.2%	-	-	-	-	-
		Tour	44.2%	12.4%	2.8%	2.0%	0.8%	-	-
	CPD	TD	0.4%	0.4%	-	-	-	-	-
		Tour	-	0.8%	-	-	-	-	-
	CPE	TD	1.6%	0.0%	0.4%	-	-	-	-
		Tour	21.1%	3.6%	2.8%	0.8%	-	-	-
<b>Articulé</b>	CA	TD	39.6%	4.2%	2.1%	2.1%	-	-	-
		Tour	42.7%	1.0%	-	2.1%	-	-	-
	CPD	TD	-	0.0%	-	-	-	-	-
		Tour	-	0.0%	-	1.0%	-	-	-
	CPE	TD	-	1.0%	-	-	-	-	-
		Tour	2.1%	1.0%	-	1.0%	-	-	-

### Normes d'accès à la ZFE

#### *i. Normes normales*

\* *VUL* : **EURO VI et V = 91.1%**

\* *Porteur* : **EURO VI = 71.7%**

\* *Articulé* : **EURO VI = 84.4%**

#### *ii. Normes durcies*

\* *VUL* : **EURO VI = 60.4%**

\* *Porteur* : **EURO VI = 71.7%**

\* *Articulé* : **EURO VI = 84.4%**

Source : Calculs des auteurs à partir des données de l'ETMV Bordeaux 2013

# MÉTHODOLOGIE

## Données : Caractérisation du parc de transport de marchandises en ville

**Tab 2.** Distribution du parc suivant le nombre moyen de sorties quotidiennes  
Source : Calculs des auteurs à partir des données de l'ETMV Bordeaux 2013

### Utilisation du parc de véhicule

*i.* Suivant le mode de gestion et le mode d'organisation les véhicules ne sont pas utilisés de la même manière

*ii.* Suivant l'âge, l'usage fait d'un véhicule peut ne pas être le même : les neufs seraient plus utilisés sur des parcours longs que les anciens véhicules (*Feng and Figliozzi, 2012; Van Wee et al., 2000; Zachariadis et al., 2001*)

Type de véhicule	Mode de gestion	Mode d'organisation	Nombre moyen de sorties Quotidiennes
VUL	CA	TD	1.0
		Tour	1.5
	CPD	TD	1.2
		Tour	2.0
Porteur	CPE	TD	1.2
		Tour	1.5
	CA	TD	2.9
		Tour	1.4
	CPD	TD	2.5
		Tour	1.0
	CPE	TD	2.0
		Tour	1.0
Articulé	CA	TD	1.8
		Tour	1.4
	CPD	TD	2.5
		Tour	2.0
	CPE	TD	2.0
	Tour	1.0	

Note : CA = Compte d'autrui ; CPD = Compte propre destinataire ; CPE = Compte propre expéditeur ; TD = Trace directe ; Tour = Tournée

# MÉTHODOLOGIE

## Données : Caractérisation du parc de transport de marchandises en ville

**Tab 2.** Effectif du parc nécessaire pour répondre à la demande quotidienne de transport de l'AUL.

Source : Calculs des auteurs

<b>Véhicule</b>	<b>Effectif</b>
<b>VUL</b>	25,961
<b>Porteur</b>	3,528
<b>Articulé</b>	7,107

**NB** : Il s'agit de l'effectif nécessaire pour répondre à la demande quotidienne de transport de marchandises de l'AUL.

→ Il est alors possible que le parc existant sur le périmètre de l'AUL soit d'un effectif plus important que celui que nous obtenons ici.

# MÉTHODOLOGIE

## Données : Caractérisation du parc de transport de marchandises en ville

**Tab 2.** Valeur moyenne des véhicules (en Euro) et durée moyenne de détention (en année).

Source : Enquêtes CNR (CNR, 2020a, 2020b) l'Argus ([www.largus.fr](http://www.largus.fr)), (OVE, 2018)

Type de Véhicule	Valeur neuf	Valeur de cession	Durée moyenne de détention	Sources de l'information
VUL	35 921	5 179	4.95	<a href="http://www.largus.fr">www.largus.fr</a>
Porteur	90 465	16 337	6.2	Enquête CNR
Articulé (Tracteur)	86 417	16 613	6.6	Enquête CNR

Note : concernant les véhicules articulés, les valeurs portent seulement sur le tracteur qui est le seul élément de l'ensemble articulé sujet aux normes de la ZFE.

Plusieurs sources ont été mobilisées :

- Pour les VUL : Neufs les prix moyens pondérés du top 10 des VUL les plus vendus en 2019 en France (Jan-2020) ; Occasion la valeur moyenne de cession ont été compilés de la même manière à travers les prix de l'Argus ; L'âge moyen de détention pour des données de l'OVE, 2018.

- Pour les Porteurs et les Articulés : Enquêtes CNR (Fév-2020)

# MÉTHODOLOGIE

## Données : Caractérisation du parc de transport de marchandises en ville

**Tab 2.** External costs of emissions. Source: Van Essen et al.(2019)

	<b>Rural area</b>	<b>Peri-urban area</b>	<b>Urban area</b>
<b>CO<sub>2</sub> (€/ton)</b>	100	100	100
<b>NO<sub>x</sub> (€/ton)</b>	16,200	27,200	27,200
<b>PM<sub>2.5</sub> (€/ton)</b>	87,000	131,000	407,000
<b>PM<sub>10</sub> (€/ton)</b>	5,900	5,900	5,900
<b>VOC (€/ton)</b>	1,500	1,500	1,500

Note: “Rural area” corresponds to areas with less than 300 inh./km<sup>2</sup> as population density ; “Peri-urban area” corresponds to areas with population density ranging from 300 inh./km<sup>2</sup> to 1500 inh./km<sup>2</sup>; Urban corresponds to areas with more than 1500 inh./km<sup>2</sup> .

**Calcul des émissions annuelles** : nous considérons cinq jour de travail par semaine, soit un total de 260 jours par an.

# RESULTATS

Tab 2. Emissions (tons/year), Source: Authors' calculations

- les quantités émises de CO<sub>2</sub> ne sont pas significativement affectées par la mise en place de ZFE, confirmant des résultats antérieurs (Rizet, 2018).

- PM : -73% au sein de la ZFE → Pas d'effet durcissement des normes. Le passage de l'Euro V au VI n'a pas amélioré les standards d'émissions de PM pour les VUL (Williams and Minjares, 2016). Attention aux populations concernées par la baisse de la pollution (ZFE, Hors ZFE et AUL)

- A périmètre constant, un durcissement des normes permet un gain de 9 points de réduction des émissions de NO<sub>x</sub> au sein de la ZFE (Scen 1 et Scen 2 ; Scen 3 et Scen 4). Aussi, l'amélioration de la qualité de l'air est la même au sein des périmètre ZFE à normes constantes : attention aux populations concernées

- Les effets de la ZFE sur les COV présentent la même structure que celle des PM : aucun effet durcissement des normes.

		Scen Ref 1	Scen 1	Scen 2	Scen Ref 2	Scen 3	Scen 4
CO <sub>2</sub> (tons/year)	ZFE	82,646.3	82,551.8	82,551.8	234,794.7	234,389.6	234,389.6
			0%	0%		0%	0%
	Hors ZFE	306,485.0	306,480.8	306,480.8	154,336.6	154,019.4	154,019.4
			0%	0%		0%	0%
	Total AUL	389,131.3	389,032.6	389,032.6	389,131.3	388,409.0	388,409.0
			0%	0%		0%	0%
PM (tons/year)	ZFE	2.0	0.5	0.5	5.7	1.5	1.5
			-73%	-73%		-73%	-73%
	Hors ZFE	7.5	4.0	4.0	3.8	1.3	1.3
			-46%	-46%		-66%	-66%
	Total AUL	9.5	4.5	4.5	9.5	2.8	2.8
			-52%	-52%		-70%	-70%
NO <sub>x</sub> (tons/year)	ZFE	221.7	143.3	124.5	634.7	407.6	353.8
			-35%	-44%		-36%	-44%
	Hors ZFE	836.7	640.5	594.5	423.6	279.4	249.1
			-23%	-29%		-34%	-41%
	Total AUL	1,058.4	783.8	718.9	1,058.4	687.0	602.8
			-26%	-32%		-35%	-43%
VOC (tons/year)	ZFE	4.9	2.7	2.7	13.8	7.7	7.7
			-45%	-45%		-44%	-44%
	Hors ZFE	18.0	12.8	12.8	9.1	5.4	5.4
			-29%	-29%		-40%	-40%
	Total AUL	22.9	15.5	15.5	22.9	13.1	13.1
			-32%	-32%		-43%	-43%

Note: Percentage data represent variations from the reference scenario (Scen Ref);

Les données des scénarios Scen 1 et Scen 2 sont comparées à la situation de référence Scen Ref 1 et celles de Scen 3 et Scen 4 à la situation de référence Scen Ref 2.

# RESULTATS

**Tab 2.** Environmental social cost of pollutant and CO2 emissions (€ million /year),

Source: authors' calculations.

	Scen Ref 1	Scen 1	Scen 2	Scen Ref 2	Scen 3	Scen 4
<b>Coût par composant</b>						
CO <sub>2</sub>	38.9	38.9	38.9	38.9	38.8	38.8
PM <sub>2,5</sub>	1.8	0.8	0.8	1.8	0.5	0.5
PM <sub>10</sub>	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
NO <sub>x</sub>	28.8	21.3	19.6	28.8	18.7	16.4
VOC	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02
<b>Coût total par zone</b>						
ZFE	14.8	12.3	11.8	42.3	34.9	33.5
		-17%	-21%		-17%	-21%
Hors ZFE	54.7	48.8	47.5	27.3	23.1	22.3
		-11%	-13%		-15%	-18%
<b>Total AUL</b>	<b>69.6</b>	<b>61.1</b>	<b>59.3</b>	<b>69.6</b>	<b>58.1</b>	<b>55.8</b>
Note: Percentage data represent variations	10%	12%	15%		-17%	-20%

Ce coût est largement expliqué par la composante CO<sub>2</sub> (entre 56 et 70%) que l'on pourrait exclure de l'analyse puisque la ZFE ne vise pas la réduction du CO<sub>2</sub>.

Parmi les polluants visés par la ZFE, le coût des NO<sub>x</sub> (41% en Scen Ref à un minimum de 29% en Scen 4) explique très largement le coût social environnemental par rapport à la contribution des PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>.

Le coût total est bien évidemment plus expliqué par la contribution d'une ZFE au périmètre du Grand Lyon que par une ZFE au périmètre actuel. Par rapport à la situation de référence, il est possible de baisser annuellement le coût social environnemental **8.5 millions** d'euro avec Scen 1, **10.3 millions** d'euros avec Scen 2, **11.5 millions** d'euro avec Scen 3 et **13.8 millions** d'euros avec Scen 4.

# RESULTATS

**Tab 2.** Coût économique annuel moyen en Euros du renouvellement du parc.

Source : calcul des auteurs

	Scen 1	Scen 2	Scen 3	Scen 4
<b>VUL</b>	10,805,317	38,990,030	14,941,014	52,976,520
	<u>2 092</u>	<u>7 550</u>	<u>2 893</u>	<u>10 258</u>
<b>Porteur</b>	7,281,009	7,281,009	8,805,909	8,805,909
	<u>781</u>	<u>781</u>	<u>945</u>	<u>945</u>
<b>Articulé</b>	8,345,793	8,345,793	11,786,450	11,786,450
	<u>1 036</u>	<u>1 036</u>	<u>945</u>	<u>1 462</u>
<b>Total</b>	26,432,119	54,616,833	35,533,374	73,568,880

Note : les chiffres soulignés correspondent aux effectifs de véhicules renouvelés.

$$CAM^i = \frac{(VAN^i - VCC^i - VCN_T^i)}{T^i} \quad (Eq 1)$$

$$CAMT = \sum_{i=1}^3 (CAM^i * EVR^i) \quad (Eq 2)$$

Avec :  $i$  représente de véhicule.  $i = VUL, Porteur, Articulé$  ;  $T^i$  représente la durée moyenne de détention d'un véhicule de type  $i$  ;  $CAM$  représente le coût annuel moyen de renouvellement d'un véhicule de type  $i$  ;  $VAN^i$  représente la valeur d'achat à neuf d'un véhicule de type  $i$  ;  $VCC^i$  représente la valeur de cession d'un véhicule de type  $i$  changé pour répondre aux exigences de la ZFE ;  $VCN_T^i$  représente la valeur de cession à la fin de la durée moyenne de détention  $T^i$  du véhicule de type  $i$  nouvellement acquis ;  $CAMT$  le coût total annuel moyen du renouvellement du renouvellement du parc ;  $EVR^i$  est l'effectif des véhicules de type  $i$  à renouveler.

Variation du coût entre 26,4 (Scen 1) et 73.5 millions d'euros (Scen 4). Poids prépondérant des VUL 41 à 72%

- A périmètre constant, le durcissement des normes entraîne une augmentation du coût économique de 2.07 fois (Scen 1 Vs Scen 2 et Scen 3 Vs Scen 4) ;
- Une augmentation de 1.3 fois à normes constantes (Scen 1 vs Scen 3 et Scen 4) ;
- une augmentation de 2.78 fois lorsqu'on se focalise sur l'effet combiné du durcissement des normes et de l'élargissement du périmètre (Scen 1 Vs Scen 4).

# RESULTATS

**Tab 2.** Bilan économique-environnemental de la ZFE en Euro.

Source : calculs des auteurs

	<b>Scen 1</b>	<b>Scen 2</b>	<b>Scen 3</b>	<b>Scen 4</b>
<b>Gain Environnementaux</b>	8,510,577	10,274,826	11,514,806	13,805,285
<b>Coût économique</b>	26,432,119	54,616,833	35,533,374	73,568,880
<b>Bilan économique-environnemental</b>	- 17,921,542	- 44,342,007	- 24,018,568	- 59,763,595

\* Il est possible d'épargner le double de la population du périmètre actuel de la ZFE (Scen 1) des épisodes de pic de pollution sans pour autant doubler le déficit économique-environnemental (+34%).

\* Comparé à Scen 3, ce déficit en Scen 4 est presque 2.5 fois plus important contre un gain 8 points de réduction des émissions de NOx dans le périmètre du Grand Lyon, 7 points en dehors et 8 points pour l'ensemble de l'AUL.

# DISCUSSIONS

A partir du bilan economico-environnemental, les 2 meilleurs scénarios sont : *Scen 1 et Scen 3*.

Avec Scen 1, nous avons le déficit est à son minimum. En Scen 3, il est plus important mais dans cette situation la population concernée par l'amélioration de la qualité de l'air représente le double de celle de Scen 1.

Nous serions donc tentés de retenir **Scen 3** comme étant le meilleur scénario ZFE.

→ L'élargissement du périmètre est plus efficace que le durcissement des normes dans le cas de la ZFE de Lyon.

# DISCUSSIONS

## Robustesse de la méthodologie :

Analyse de sensibilité des résultats eu égard au fait que nous imputons de manière aléatoire la distribution de la flotte de véhicule aux différents parcours effectués.

Pour ce faire, nous avons répété cette imputation cinq fois (pour les cinq jours ouvrés de la semaine) et avons calculés les moyennes, écart type et variances.

**C/C:** La méthodologie utilisée est donc robuste.

**Tab 2.** Tableau de synthèse statistiques des 5 Runs  
Source : Calculs des auteurs

		Moyenne				Ecart-type				Variance			
		CO2	PM	NOx	VOC	CO2	PM	NOx	VOC	CO2	PM	NOx	VOC
Scen Ref 1	<b>ZFE</b>	57039.7	1.4	153.6	3.4	19.0	0.0	1.3	0.0	359.2	0.0	1.7	0.0
	<b>Hors ZFE</b>	332159.4	8.1	904.1	19.6	65.8	0.0	1.8	0.1	4328.2	0.0	3.3	0.0
	<b>AUL</b>	389199.1	9.5	1057.7	22.9	79.5	0.0	2.1	0.1	6318.7	0.0	4.5	0.0
Scen 1	<b>ZFE</b>	57006.3	0.4	99.2	1.9	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	<b>Hors ZFE</b>	331995.2	4.1	682.4	13.7	25.9	0.0	3.0	0.1	671.8	0.0	9.1	0.0
	<b>AUL</b>	389001.4	4.5	781.5	15.5	25.9	0.0	2.9	0.1	671.7	0.0	8.4	0.0
Scen 2	<b>ZFE</b>	57006.3	0.4	86.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	<b>Hors ZFE</b>	331995.2	4.1	630.5	13.7	25.9	0.0	3.1	0.1	671.8	0.0	9.8	0.0
	<b>AUL</b>	389001.4	4.5	716.5	15.5	25.9	0.0	3.1	0.1	671.7	0.0	9.8	0.0
Scen Ref 2	<b>ZFE</b>	229702.0	5.6	622.8	13.5	31.3	0.0	2.7	0.1	979.1	0.0	7.0	0.0
	<b>Hors ZFE</b>	159497.1	3.9	434.9	9.4	57.8	0.0	1.8	0.1	3336.2	0.0	3.1	0.0
	<b>AUL</b>	389199.1	9.5	1057.7	22.9	79.5	0.0	2.1	0.1	6318.7	0.0	4.5	0.0
Scen 3	<b>ZFE</b>	229354.0	1.5	402.0	7.5	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
	<b>Hors ZFE</b>	159063.7	1.3	285.3	5.6	23.7	0.0	1.1	0.0	563.4	0.0	1.2	0.0
	<b>AUL</b>	388417.7	2.8	687.3	13.1	23.7	0.0	1.2	0.0	563.9	0.0	1.4	0.0
Scen 4	<b>ZFE</b>	229354.0	1.5	348.5	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	<b>Hors ZFE</b>	159063.7	1.3	254.4	5.6	23.7	0.0	1.1	0.0	563.4	0.0	1.2	0.0
	<b>AUL</b>	388417.7	2.8	602.8	13.1	23.7	0.0	1.1	0.0	563.9	0.0	1.2	0.0

## LIMITES

\* Le Groupe 1 de scénarios étudiés part implicitement de l'hypothèse que les organisations en place restent les mêmes malgré l'entrée en vigueur des normes de la ZFE. Cette hypothèse peut être relâchée dans une moindre mesure car l'investissement supplémentaire que représente le renouvellement des véhicules n'est pas à la portée de tous les acteurs.

\* Le fait de n'avoir pas pu intégrer l'âge des véhicules dans le calcul du nombre moyen de sorties quotidiennes pourrait introduire une surestimation des distances parcourues par les véhicules anciens et une sous-estimation des celles parcourues par les plus neufs. Ce qui pourraient introduire un biais dans le total des émissions calculées (Malik and Tiwari, 2017).

# CONCLUSION

- ❑ **La ZFE de Lyon a un impact environnemental positif** : Le schéma proposé par la Métropole de Lyon permet une amélioration de la qualité de l'air à travers une réduction de tous les polluants visés par la mesure NOx et PM. D'autres schémas de ZFE permettent d'améliorer encore plus la qualité de l'air : élargissement du périmètre et/ou durcissement des normes.
- ❑ Le coût économique associé à la mise en place lorsqu'il est évalué à travers le coût du renouvellement du parc montre un effort important que les acteurs devront faire pour se conformer à cette nouvelle exigence.
- ❑ En mettant balance, les gains environnementaux et les coûts économiques liés à la ZFE, on se rend compte que tous les scénarios ZFE conduisent à un déficit. Le minimum du déficit est associé au schéma de ZFE proposé par la Métropole de Lyon. Toutefois, un élargissement du périmètre de la ZFE montre qu'on peut améliorer la qualité pour l'ensemble de la population du Grand Lyon (soit le double de la population du périmètre de la ZFE actuel) sans pour autant doubler le déficit.
- ❑ Une condition ne semble pas avoir été remplie par la Métropole pour une effectivité des impacts attendus de cette ZFE : *l'arsenal de contrôle du respect par les acteurs.*



LABORATOIRE  
AMÉNAGEMENT  
ÉCONOMIE  
TRANSPORTS

TRANSPORT  
URBAN PLANNING  
ECONOMICS  
LABORATORY

**Merci**

**Questions ???**

