

Séminaire Evaluation des Politiques Publiques (EPOP)

3 octobre 2025

Quelles injustices sociales de la ZFEm de la Métropole du Grand Paris ?

Alexis Poulhès & Laurent Proulhac

Laboratoire Ville Mobilité Transport

Université Gustave Eiffel, Ecole des Ponts et Chaussées - Institut Polytechnique de Paris

alexis.poulhes@enpc.fr ; laurent.proulhac@enpc.fr

Qualité de l'air

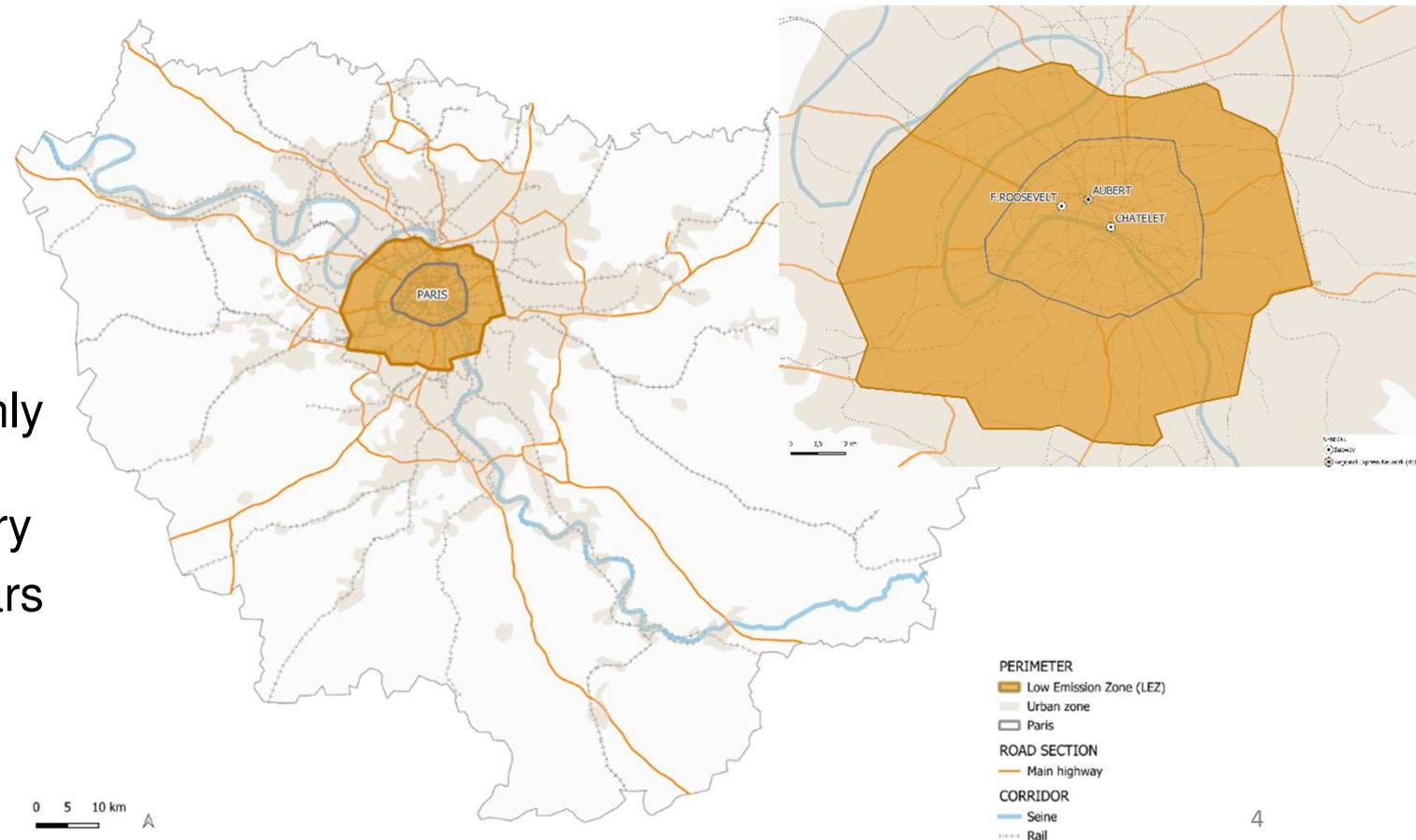
- Planetary issue of public health at a local scale (WHO)
- Numerous sources of pollution (not only transport)
Transport in French cities : 30% of PM and 60% of NOx
- Policies in rich countries and cities, but rarely elsewhere
- Joins other environmental issues and policies
- Inequalities in exposure (WHO) and emissions (Jephcote and Chen 2012)

Etat de l'art

- On air quality assessment
 - Improvements in terms of concentration (Holman et al. 2015)
 - Ex-ante simulations based on simulation give better results (Host, 2020) than ex-post
- On inequality
 - Acceptability (Tarrino-Ortiz, 2021)
 - Social inequality in workplace accessibility (Liotta, 2023)
 - Spatial inequality (Moreno, 2022 ; Poulhès & Proulhac, 2021)
 - Compliant-car and modal shift inequality (Verbeek & Hincks, 2022; Poulhès et al., 2025);

La ZFEm de la Métropole du Grand Paris

- From 2017 to 2019 : Only Paris
- Still 2019 : A greater territory
- In 2021 : more cars restricted
- In 2025 : more



Why restriction on car circulation is critical in France ?

Some reflections based on the case of the Paris LEZ

Données

1. *Enquête Globale Transport (EGT H2020) (IDFM-OMNIL-DRIEA)*

- Ménage : motorisation (année de mise en circulation et énergie)
- Individus : âge, genre, résidence, occupation, PCS, etc.
- Déplacements (jour ouvrable) : modes, heures début & fin, longitude/latitude origine & destination, durées, véhicule utilisé, etc.

2. *Cartes de concentrations de NO₂ d'un jour ouvrable moyen (Airparif) (2019)*

- Cartes spatio-temporelles des concentrations dans l'air extérieur (mesures & modélisation)
- Résolution temporelle : 1 carte/heure (24 cartes)
- Résolution spatiale : 12.5m*12.5m (Paris), 25m*25m (banlieue intérieure), 50m*50m (banlieue extérieure)

3. *Données de concentrations NO₂ dans le réseau souterrain (RATP) (2019)*

- Concentrations moyennes horaires à Châtelet (L1) et Roosevelt (L4), et Auber (RER A) (de 15 µg/m³ à 40 µg/m³)

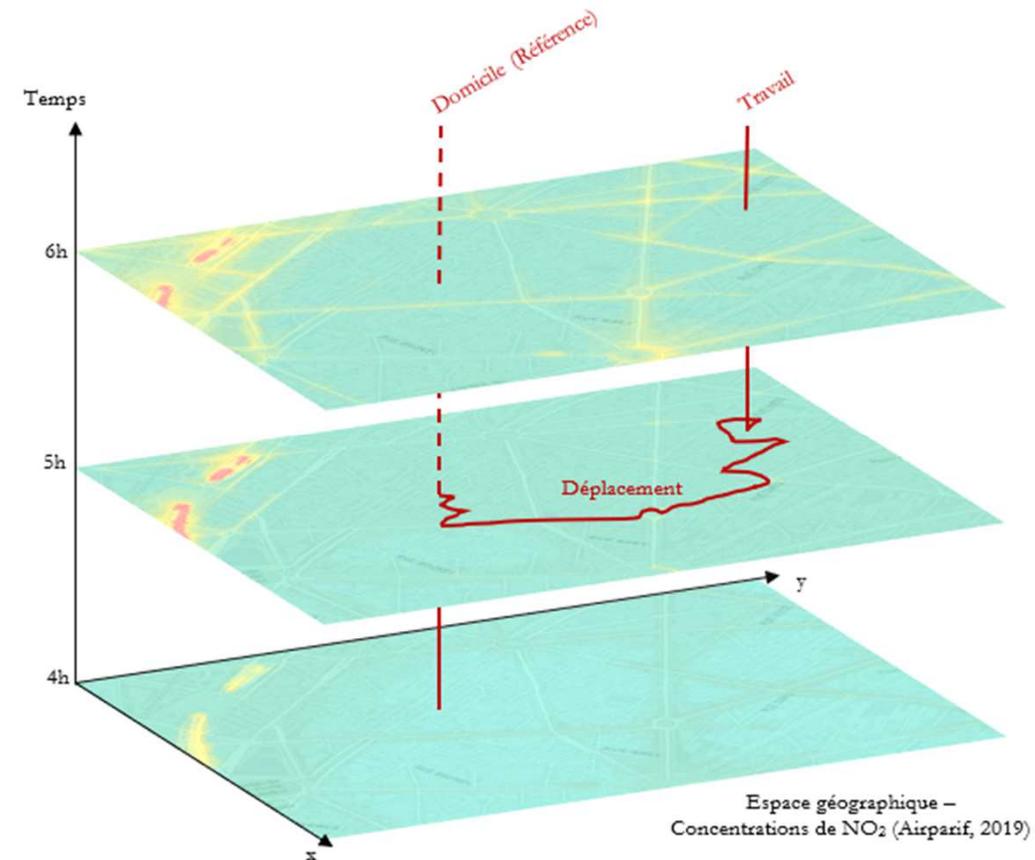
Principe méthodologique

Estimer l'exposition des individus enquêtés par la reconstitution de leur "trajectoire spatio-temporelle" (Hägerstrand, 1970) dans l'environnement atmosphérique

Approche dynamique : exposition sur les lieux d'activités (domicile, travail, achats, etc.) et de la mobilité (voiture, marche, métro, etc.), en tenant compte des horaires et des durées

≠

Approche statique : exposition au lieu de résidence localisé dans une unité spatiale (Perchoux et al., 2013)

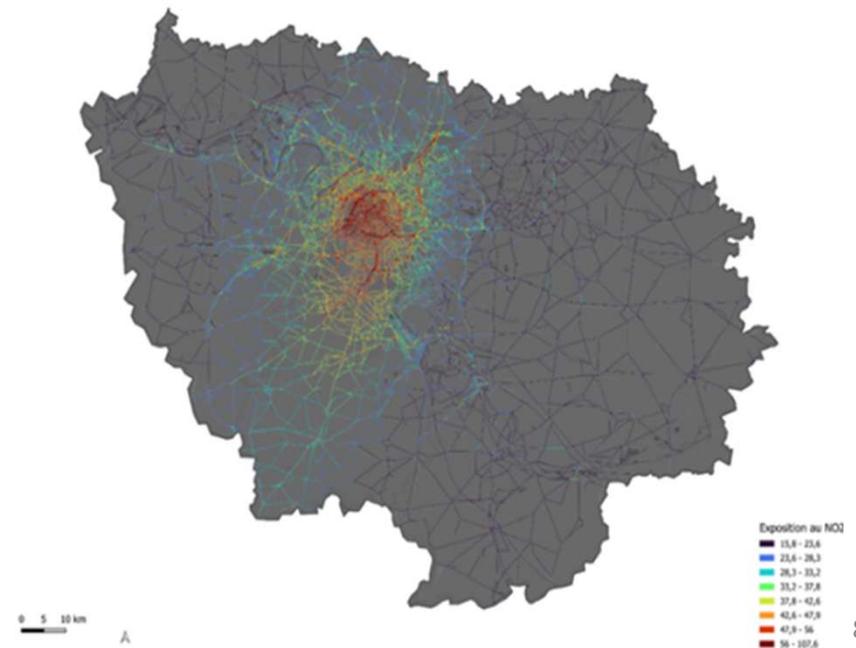


Principe méthodologique

1. *Une estimation de l'exposition à la pollution sur les lieux pratiqués*
Transformation des données "déplacement-centré" de l'EGT en données "activité-centrée"
2. *Une estimation de l'exposition à la pollution pendant la mobilité différenciée selon les modes*

Voiture & deux-roues : reconstitution de l'itinéraire (modèle MODUS) et superposition avec les données carroyées de concentrations Airparif

Niveaux d'exposition au NO₂ entre 9h et 10h lors des déplacements automobiles (Source : Poulhès et al., 2025)



Principe méthodologique

Marche : modélisation de l'itinéraire (Openstreetmap) et superposition avec les données carroyées de concentrations Airparif



Niveaux d'exposition au NO₂ à Paris entre 9h et 10h lors des déplacements pédestres (Source : Poulhès et al., 2025)

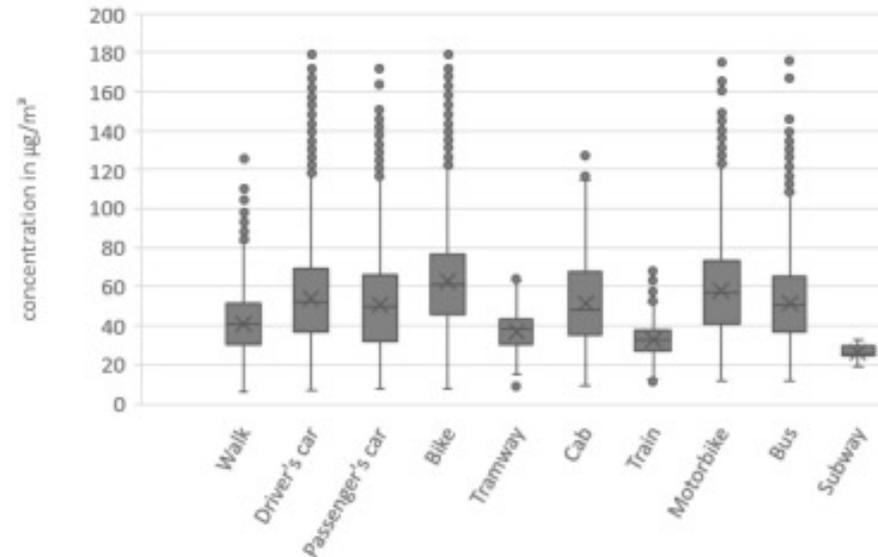
Métro : exposition à l'heure de départ avec données RATP

RER & train : distinction entre déplacements internes à Paris, internes à la banlieue, traversant Paris, et en lien avec Paris. Données RATP ou/et Airparif

Bus & tramway : moyenne carreaux de départ et destination des données carroyées Airparif

Principe méthodologique

Niveau d'exposition au NO₂ lors des déplacements par mode



Niveau d'exposition individuel moyen au NO₂ : 31.2 µg/m³

73% exposés à un niveau supérieur au seuil journalier recommandé par l'OMS (25 µg/m³)

Indicateurs d'inégalité

1. Niveau d'exposition individuel supérieur au seuil recommandé par l'OMS
2. Niveau d'exposition individuel supérieur au seuil recommandé par l'OMS après la mise en œuvre de la ZFEm
Scénarios "haut" (Crit'Air 3 interdit) et "bas" de réduction des concentrations (Host et al., 2020) - définition des individus "bénéficiaires"
3. Individus dans un ménage possédant (au moins) un véhicule non-conforme et l'utilisant dans la ZFEm
4. "Capacité d'adaptation des conducteur.rices" : évaluation temporelle au report modal vers les transports en commun

Question

Méthodologie

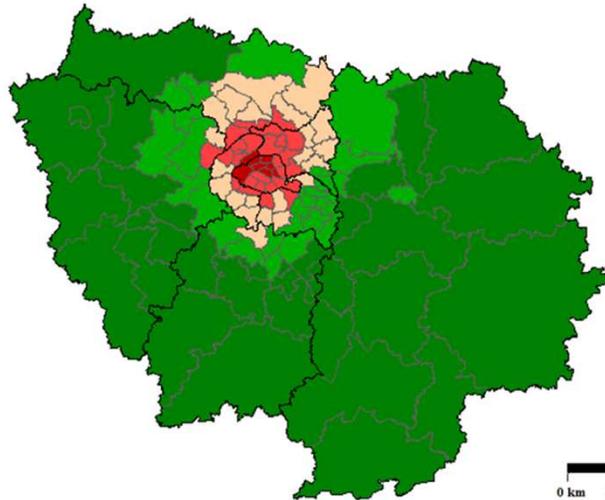
Résultats

Conclusion

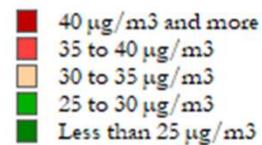
Résultats

Inégalités spatiales d'exposition environnementale

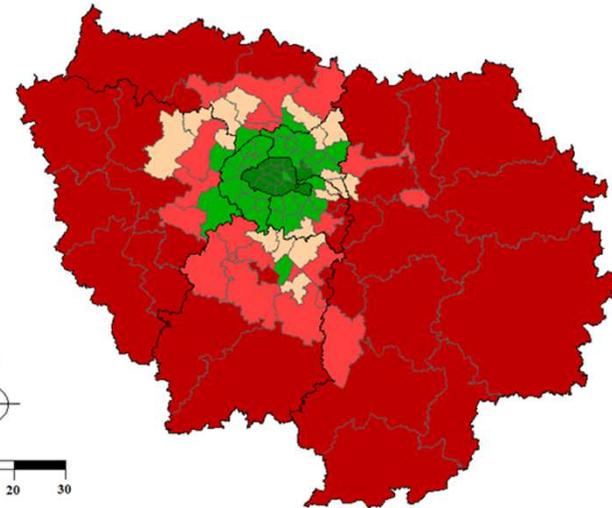
Niveau moyen d'exposition
au NO₂ (µg/m³)



Mean NO₂ exposure level (µg/m³)



Niveau moyen d'émissions
de NO_x liées au trafic



Mean traffic NO_x emission level (g)



Source : Poulhès et Proulhac (2022)

Inégalités spatiales d'exposition environnementale

...et des contributions inégalement réparties socialement

Income (per quintile)	Urban Pedestrian (UP)			Urban Driver (UD)			Peri-urban Driver in Centre (PDC)		
	Part of the population (%)	Part (%) > 25 ug/m ³ NO ₂	Part (%) in the NO _x emissions	Part of the population (%)	Part (%) > 25 ug/m ³ NO ₂	Part (%) in the NO _x emissions	Part of the population (%)	Part (%) > 25 ug/m ³ NO ₂	Part (%) in the NO _x emissions
First quintile	21,1	96,5	0,0	11	97,7	10,4	17,7	76,6	9,2
Second quintile	21,5	97,8	0,0	17,5	97,0	17,5	20,1	78,0	17,2
Third quintile	17,6	97,7	0,0	21,7	95,9	20,4	20,2	76,0	21,6
Fourth quintile	17,9	98,8	0,0	21,6	98,3	23	20,7	78,3	27,5
Fifth quintile	21,9	99,6	0,0	28,1	98,1	28,7	21,3	85,6	24,5

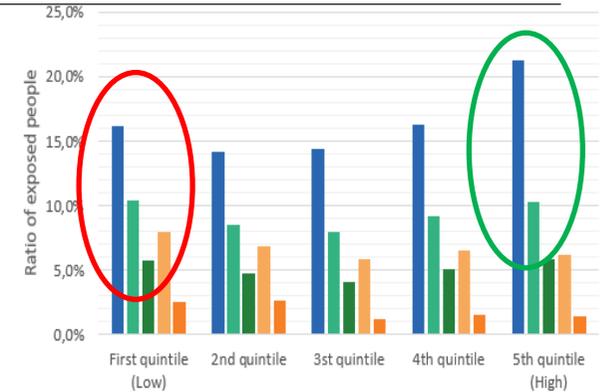
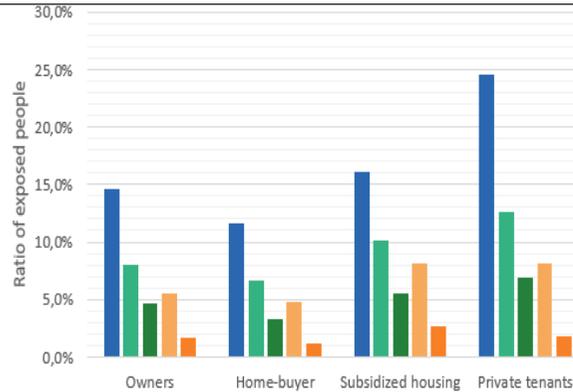
Source : Poulhès et Proulhac (2022)¹⁴

Les inégalités d'exposition

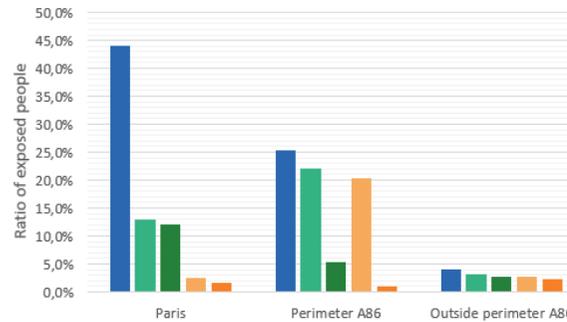
Les populations les plus à risque sont les moins bénéficiaires de la ZFEm

...Et des bénéfices à l'extérieur de la ZFE

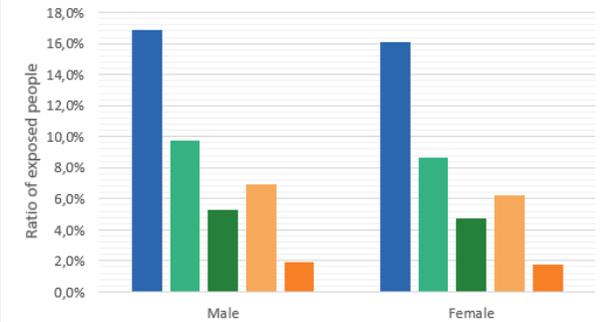
■ business-as-usual
 ■ Paris Weak scenario
 ■ A86 Weak scenario
■ Paris Strict scenario
 ■ A86 Strict scenario



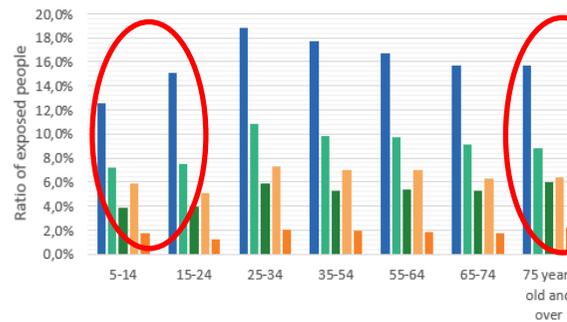
Territory



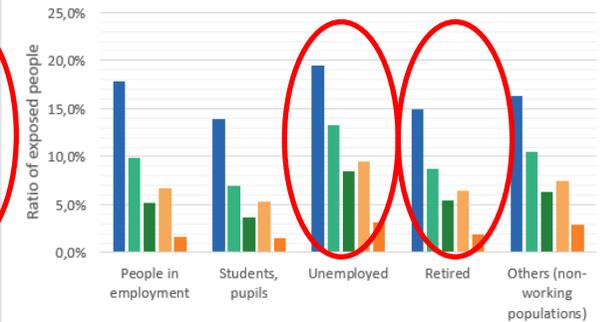
Gender



Age



Occupation



Inégalités d'usage de véhicules non-conformes

	Part (%) des ménages qui ont fait des déplacements dans la ZFE-m parmi les détenteurs de véhicules interdits	Distribution (%) des ménages ayant fait des déplacements dans la ZFE-m selon leur lieu de résidence et leur revenu	Distribution (%) des déplacements dans la ZFE-m selon le lieu de résidence et le revenu des <u>conducteur.rices</u>
ZFE-m	37	58	65
1er quartile	44	24	26
2ème quartile	31	8	10
3ème quartile	33	11	12
4ème quartile	36	15	17
Hors ZFE-m	13	42	35
1er quartile	15	12	10
2ème quartile	16	17	13
3ème quartile	8	7	7
4ème quartile	10	6	5
Ensemble	21	100	100

Source : Proulhac, Charbonnier, Gallez, Poulhès, en soumission

Une double inégalité ?

Plus forte quand la ZFEm restreint peu de véhicules

	Average individual exposure > 25 µg/m ³ and using non-compliant car with weak LEZ			Average individual exposure > 25 µg/m ³ and using non-compliant car with strong LEZ		
	Share (%)	Coeff.	Odds-ratio	Share (%)	Coeff.	Odds Ratio
Intercept		-3.5403***	0.11		-2.5578***	0.08
Residence						
Within the LEZ	78			37	Ref.	Ref.
Outside the LEZ	22			63	0.4262 [†]	1.53
Gender						
Women	52	Ref.	Ref.	52	Ref.	Ref.
Man	48	0.8494**	2.34	48	0.5813***	1.79
Age						
Under 15	14	-	-	14	-3.89***	0.02
15 to 24 years	13	-1.0107*	0.36	13	-0.6237	0.54
25 to 34 years	16	ref	ref	16	ref	ref
35 to 54 years	29	-0.4322	0.65	29	-0.2435	0.78
55 to 64 years	12	-0.7530	2.12	12	-0.0073	0.99
65 years and over	15	1.3846	4.00	15	-0.1119	0.89
Occupation						
Employed	48	ref	ref	48		
School	20	-0.5082	0.60	20		
Student	5	-0.0596	0.95	5		
Unemployed	5	-	-	5		
Retired	18	-1.3036	0.27	18		
Homemaker	4	-	-	4		
Income						
Less than 1300€	30	ref	ref	30	ref	ref
1300 to 1900€	25	-0.9505*	0.39	25	0.1077	1.11
1900 to 2500€	17	-1.7970***	0.15	17	-0.7600**	0.47
2500 to 3400€	13	-1.1663***	0.12	13	-0.6082	0.54
3400€ and more	15	-1.7468***	0.23	15	-0.5167	0.60
Household structure						
Single	18	-1.0524*	0.34	18	-0.9620***	0.38
Childless couple	21	-0.4570	0.63	21	-1.0003***	0.37
Couple with child	42	ref	ref	42	ref	ref
Single-parent family	12	-2.7945	0.06	12	-1.0532 [†]	0.35
Other	6	-0.5621	0.57	6	-0.1136	0.90
Housing occupancy						
Owner	55	Ref.	Ref.	67	Ref.	Ref.
Social housing tenant	19	0.3550	0.78	15	-0.1898	0.83
Private tenant	24	1.0732	1.15	16	0.3133	1.37
Other	2	2.8500***	17.30	2	1.0935	2.98
Summary statistics	R ² = 0.193 N = 4771			R ² = 0.116 N = 4771		

Sources: EGT H2020-Île-de-France Mobilités-OMNIL-DRIEA, NO₂ space-time concentrations, Airparif. Authors' calculations. Significance:

Contrainte temporelle au changement modal des conducteurs avec des Crit'Air 3, 4 et/ou 5

Une inégalité de genre : une moindre capacité d'adaptation des femmes

	Part (%) des conducteurs automobiles avec des déplacements dans la ZFE-m tous véhicules		Part (%) des conducteurs automobiles avec des déplacements dans la ZFE-m avec véhicules Crit'Air 3, 4 ou 5	
	TC plus rapide	VP plus rapide	TC plus rapide	VP plus rapide
Homme	23	31	26	29
1er quartile	6	5	10	5
2ème quartile	4	5	8	7
3ème quartile	5	9	4	7
4ème quartile	8	12	4	10
Femme	14	32	17	28
Femme	2	3	3	5
1er quartile	3	6	5	6
2ème quartile	4	11	5	9
3ème quartile	6	12	4	8
4ème quartile	23	38	23	37
HOMME ET FEMME	14	25	19	21
Ensemble	37	63	42	58

Source : Proulhac, Charbonnier, Gallez, Poulhès, en soumission

Principaux résultats

- Les plus riches émettent le plus dans le centre et depuis la périphérie
- Des bénéfices sanitaires quelque soit la ZFEm
Partagés avec les populations vivant à l'extérieur de la ZFEm
- Une solution de report modal acceptable pour beaucoup
- Des bénéfices inégalement répartis dans la population
- Plus on attend, plus on ne vise que les plus défavorisés en terme de motorisation
- Des contraintes de report modal plutôt pour les femmes



Discussion

- De nombreuses limites et perspectives
 - Sur l'enquête de mobilité
 - Un seul polluant étudié
- Pourquoi ce combat de défense de la voiture plutôt qu'un autre ?
- Pour pouvoir contraindre la voiture
 - Avoir des alternatives crédibles
 - Changer son mode de vie
 - Mais aussi combattre les autres inégalités (revenu, impôt, éducation, héritage, etc.) ?

Discussion : des alternatives à la ZFEm ?

