

Mercredi 29 juin 2022

Boris Vansevenant <sup>1,2,3</sup>  
Patrick Tassel <sup>1</sup>  
Véronique Cerezo <sup>1</sup>  
Yao Liu <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univ. Eiffel, AME-EASE

<sup>2</sup> ADEME

<sup>3</sup> Univ. Lyon 1, IRCELYON

# Émissions de particules du trafic routier, comparaison des mesures au laboratoire et *in situ*



JOURNÉES  
**MOBILITÉS**  
DU RÉSEAU  
SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE

## Contexte

## Méthodologies

- mesures au laboratoire
- mesures *in situ*

## Résultats

- émissions de mono-sources
- émissions du parc
- comparaison

## Conclusions

## Contexte

## Méthodologies

- mesures au laboratoire
- mesures *in situ*

## Résultats

- émissions de mono-sources
- émissions du parc
- comparaison

## Conclusions

# La pollution atmosphérique

## Pollution atmosphérique

- ❖ Impacts sur la santé, le climat et l'environnement
- ❖ 1 200 milliards € / an en Europe <sup>(1)</sup>
- ❖ 600 000 décès prématurés / an en Europe <sup>(1)</sup>
- ❖ Particules fines et effluents des moteurs diesel et essence : cancérigènes selon CIRC <sup>(4)</sup>



Lyon lors d'un pic de pollution (LyonCapitale)

- (1) Economic cost of the health impact of air pollution in Europe, OMS, 2015
- (2) Bilan de la qualité de l'air en 2017, Atmo AURA, 2018
- (3) Rapport national d'inventaire, CITEPA, 2015
- (4) Outdoor air pollution, CIRC, 2016



# La pollution atmosphérique

## Pollution atmosphérique

- ❖ Impacts sur la santé, le climat et l'environnement
- ❖ 1 200 milliards € / an en Europe <sup>(1)</sup>
- ❖ 600 000 décès prématurés / an en Europe <sup>(1)</sup>
- ❖ Particules fines et effluents des moteurs diesel et essence : cancérigènes selon CIRC <sup>(4)</sup>



Lyon lors d'un pic de pollution (LyonCapitale)

## Émissions du trafic routier

- ❖ Polluants réglementés
    - 54 % des NO<sub>x</sub> <sup>(3)</sup>
    - 16 % des PM<sub>2.5</sub> <sup>(3)</sup>
    - 30 % des PM<sub>2.5</sub> à Lyon <sup>(2)</sup>
  - ❖ Polluants non réglementés
    - 46 % du carbone suie <sup>(3)</sup>
    - 14 % des composés organiques volatils non méthaniques <sup>(3)</sup>
- Peu connus

(1) Economic cost of the health impact of air pollution in Europe, OMS, 2015

(2) Bilan de la qualité de l'air en 2017, Atmo AURA, 2018

(3) Rapport national d'inventaire, CITEPA, 2015

(4) Outdoor air pollution, CIRC, 2016



# Impacts sanitaires des particules

- ❖ Norme = particules > 23 nm

## Particulate matter size

### 'coarse'

$2.5 \mu\text{m} < \varnothing < 10 \mu\text{m}$

### 'fine or thin'

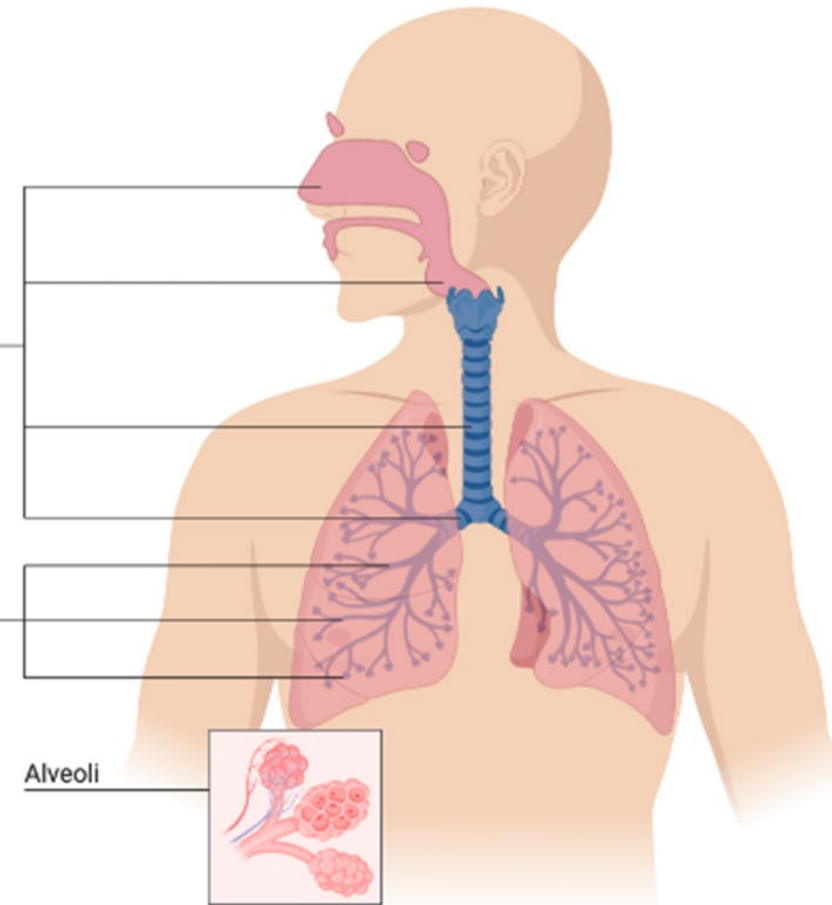
$100 \text{ nm} < \varnothing < 2.5 \mu\text{m}$

### 'ultrafine'

$10 \text{ nm} < \varnothing < 100 \text{ nm}$

### nanoparticles

$\varnothing \leq 2 \text{ nm}$



Sanità di Toppi et al., Novel Coronavirus: How Atmospheric Particulate Affects Our Environment and Health. *Challenges* 2020, 11, 6.





# Impacts sanitaires des particules

- ❖ Norme = particules > 23 nm
- ❖ Morbidité / mortalité
  - Asthme
  - Maladies cardiovasculaires
  - Cancer du poumon

## Particulate matter size

### 'coarse'

$2.5 \mu\text{m} < \varnothing < 10 \mu\text{m}$

### 'fine or thin'

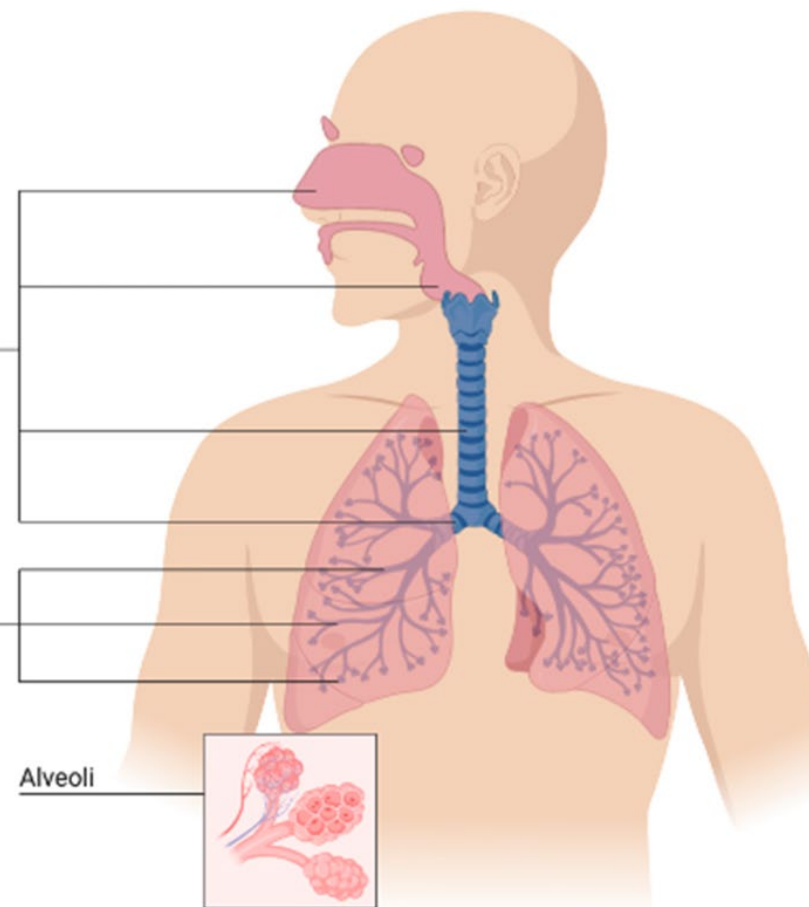
$100 \text{ nm} < \varnothing < 2.5 \mu\text{m}$

### 'ultrafine'

$10 \text{ nm} < \varnothing < 100 \text{ nm}$

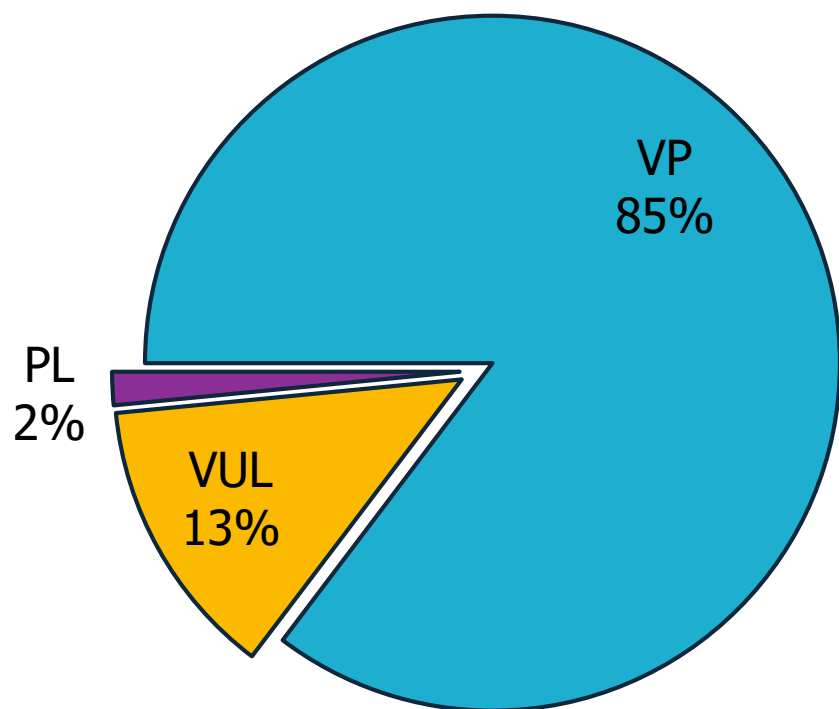
### nanoparticles

$\varnothing \leq 2 \text{ nm}$



Sanità di Toppi et al., Novel Coronavirus: How Atmospheric Particulate Affects Our Environment and Health. *Challenges* 2020, 11, 6.

## Un parc roulant diversifié

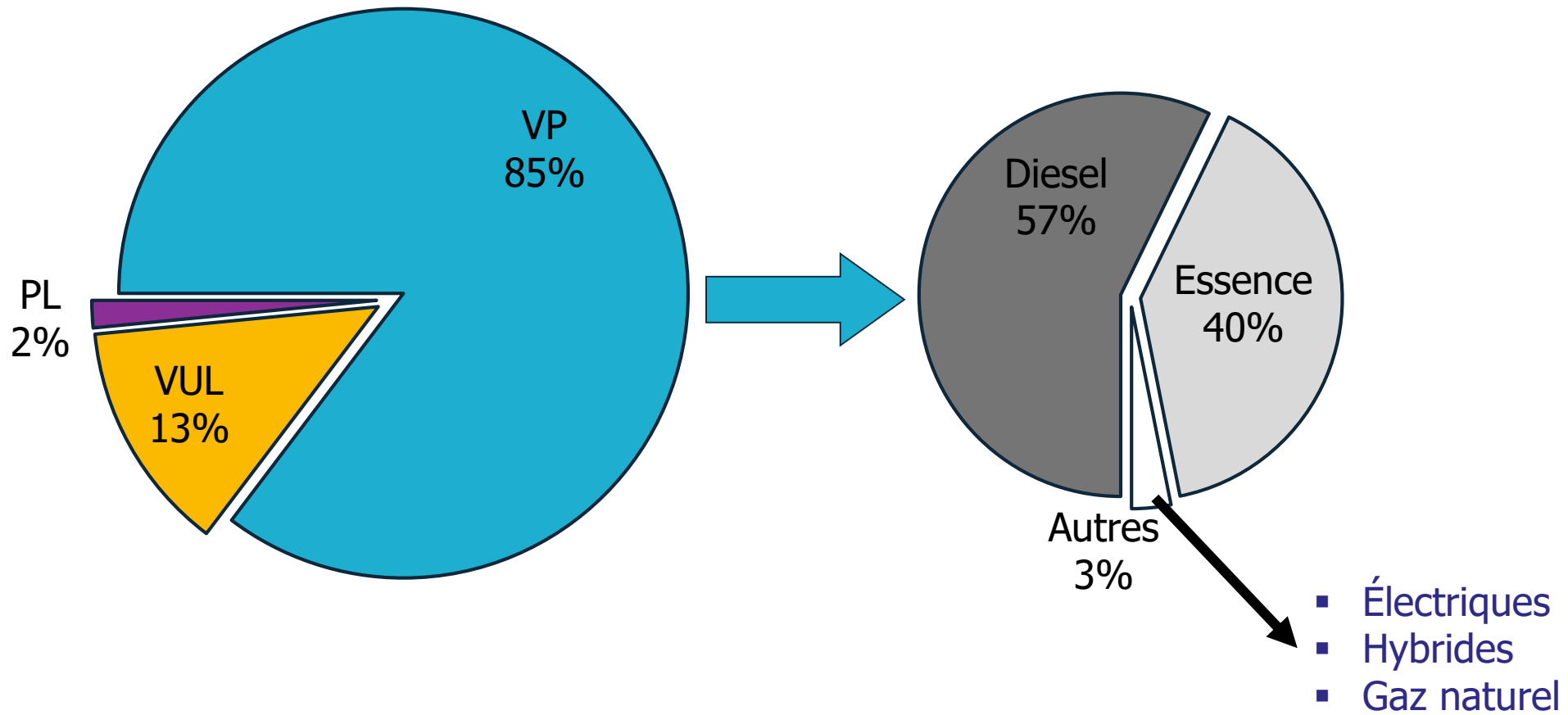


Source: Ministère de la Transition Écologique





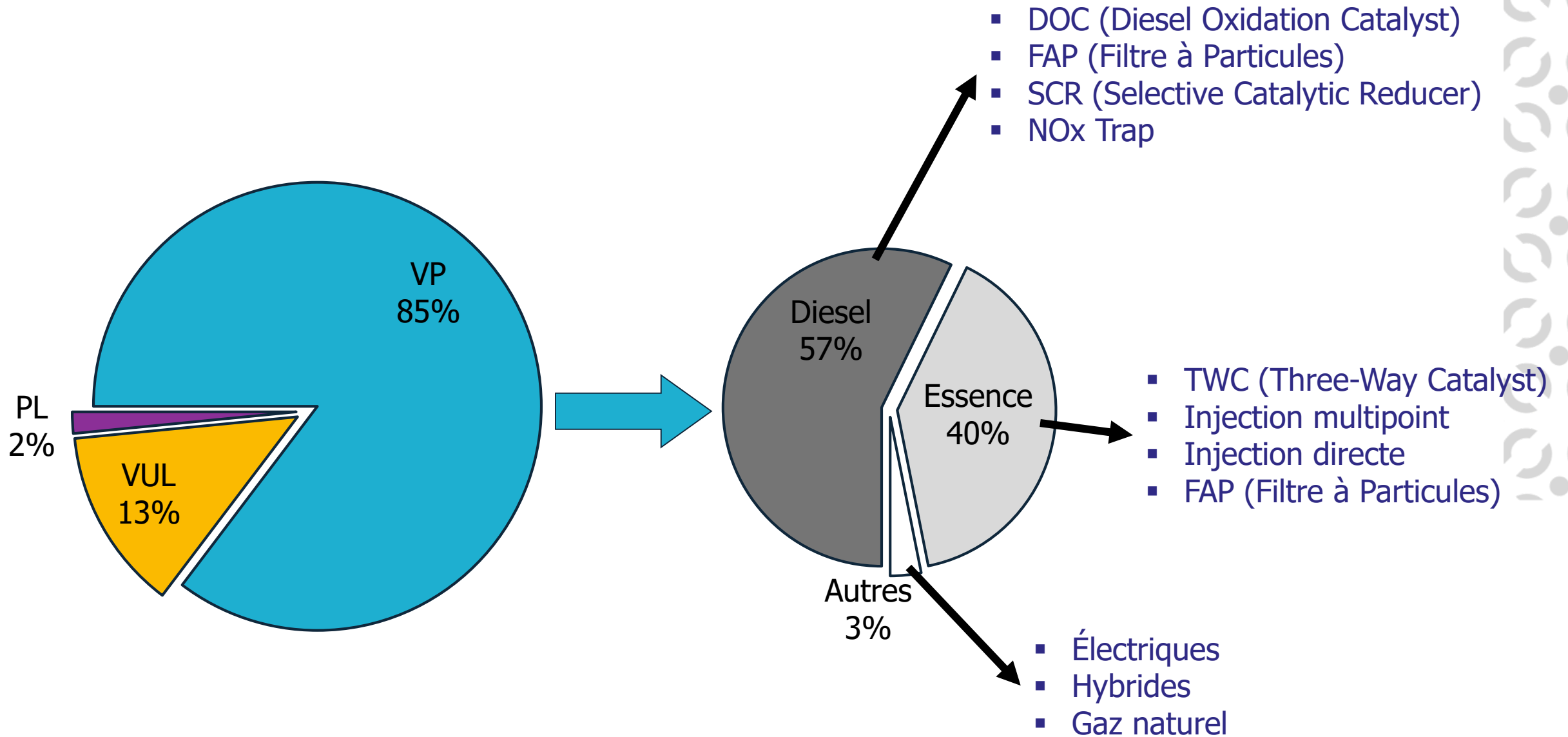
# Un parc roulant diversifié



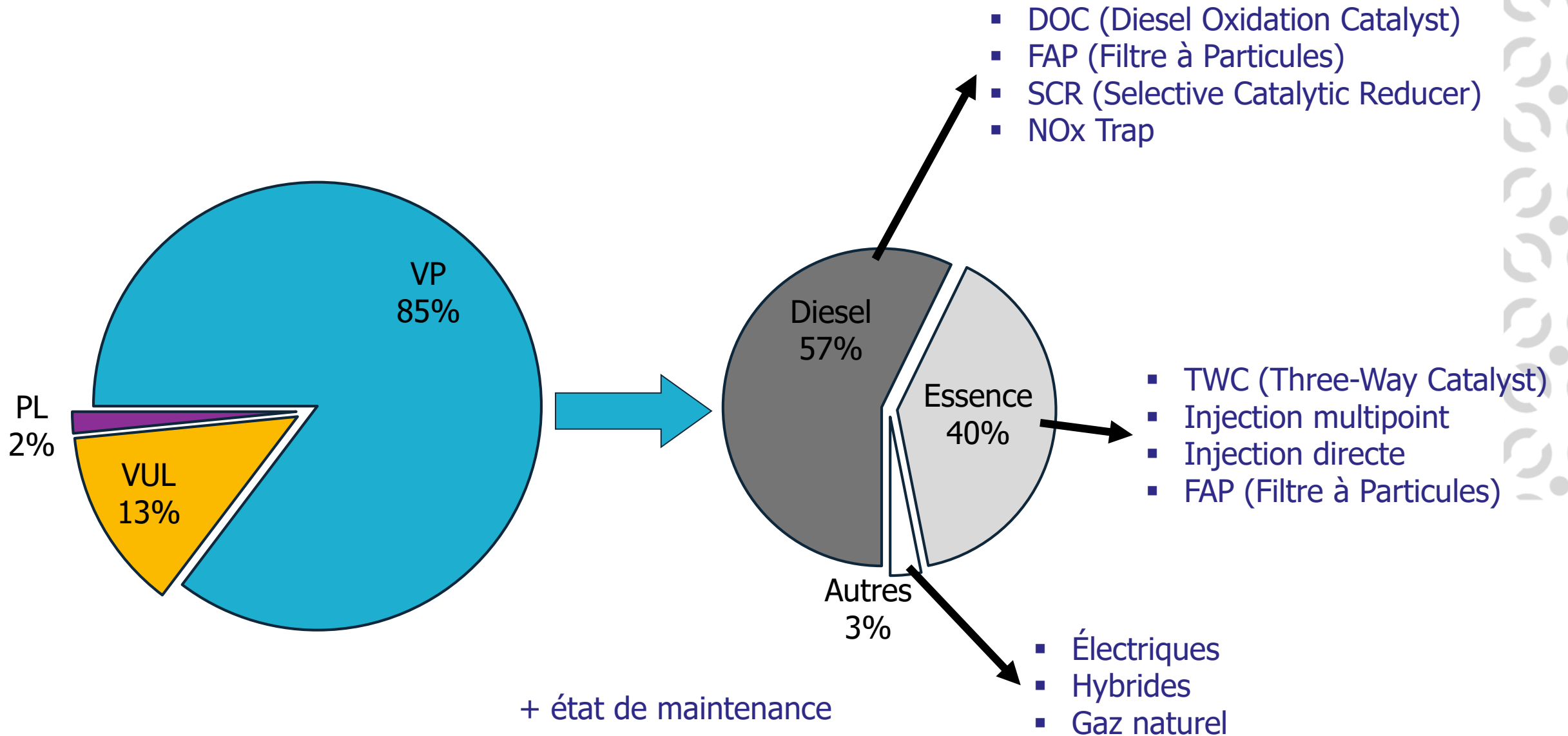
Source: Ministère de la Transition Écologique



# Un parc roulant diversifié



# Un parc roulant diversifié



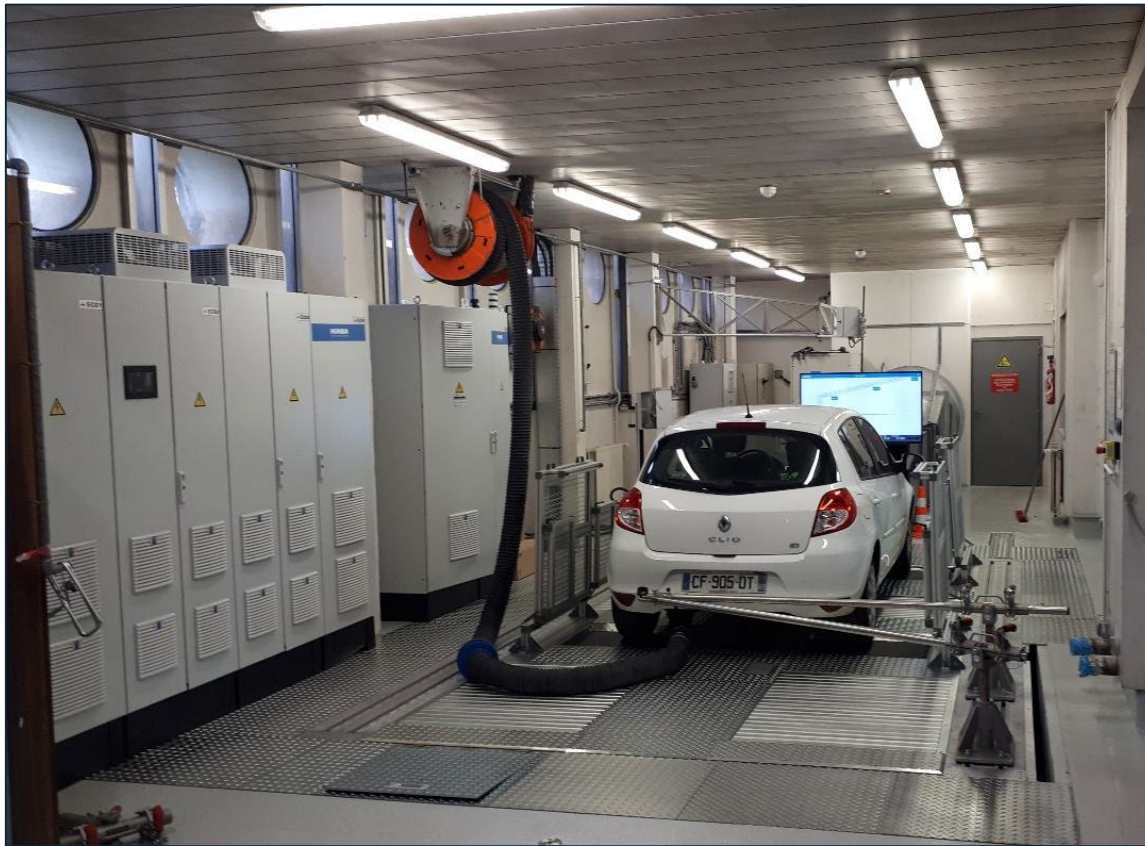
+ état de maintenance



# Les méthodes de mesure des émissions

## Études sur des mono-sources

### ❖ Banc à rouleaux



Univ. Eiffel, laboratoire EASE

### ❖ Mesure embarquée



Giechaskiel et al., 2016

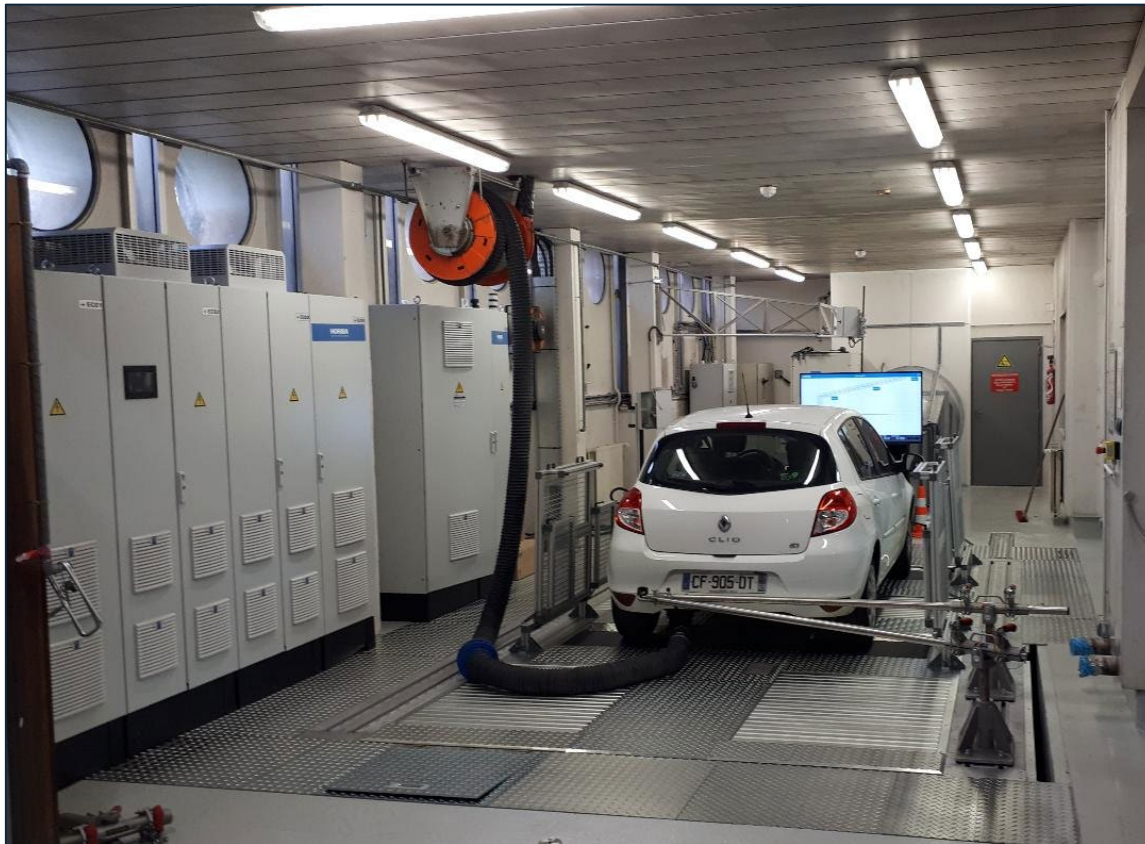




# Les méthodes de mesure des émissions

## Études sur des mono-sources

❖ Banc à rouleaux



Univ. Eiffel, laboratoire EASE

→ Motorisations / technologies spécifiques

→ Répétabilité des mesures

❖ Mesure embarquée



Giechaskiel et al., 2016



# Les méthodes de mesure des émissions

## Études sur un parc roulant réel

### ❖ Mesures *in situ*



La voix du Nord





# Les méthodes de mesure des émissions

## Études sur un parc roulant réel

### ❖ Mesures *in situ*

- Parc hétérogène et réel
- Conditions de conduite réelles



La voix du Nord





## Contexte

## Méthodologies

- mesures au laboratoire
- mesures *in situ*

## Résultats

- émissions de mono-sources
- émissions du parc
- comparaison

## Conclusions

## Contexte

## Méthodologies

- mesures au laboratoire
- mesures *in situ*

## Résultats

- émissions de mono-sources
- émissions du parc
- comparaison

## Conclusions

# Mesures au laboratoire avec des mono-sources

## Principe



Guide de  
conduite

Ventilation

Rouleaux

Salle de  
contrôle



# Mesures au laboratoire avec des mono-sources

## Principe



Guide de conduite

Ventilation

Rouleaux

Prélèvement des gaz d'échappement

Salle de contrôle

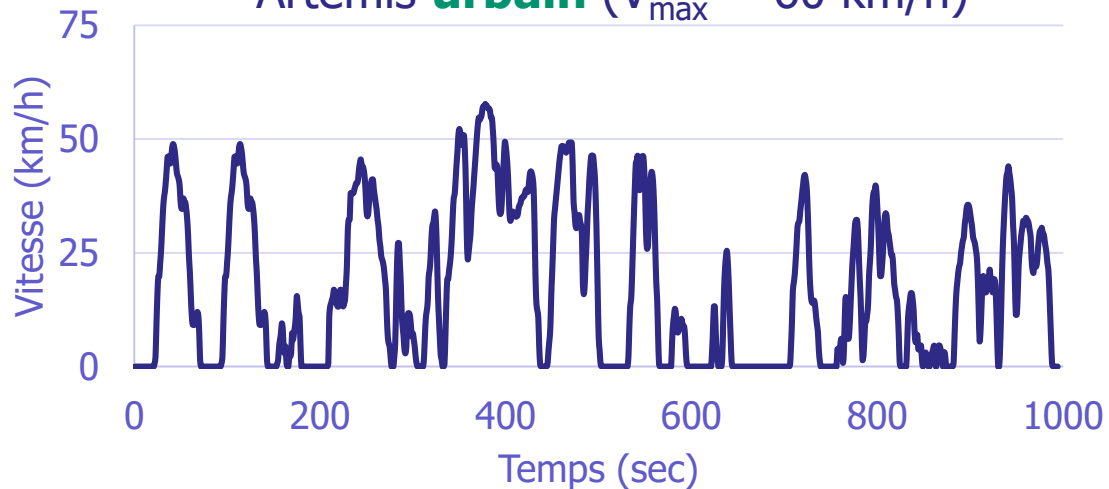
Baie d'analyse Horiba :  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , HCT, CO,  $\text{CH}_4$   
SMPS / FMPS : particules

# Mesures au laboratoire avec des mono-sources

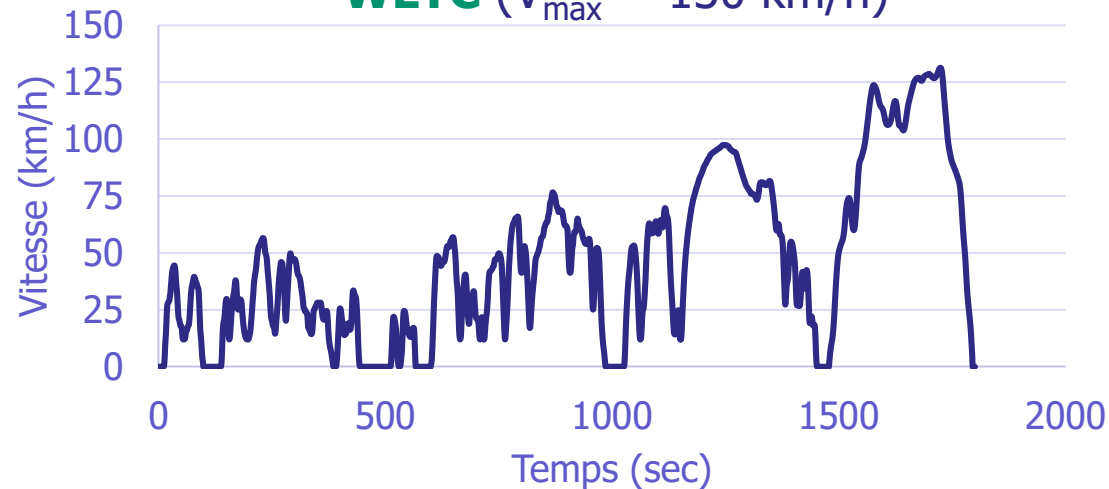
## Cycles de conduite

\* Démarrage à froid ou à chaud

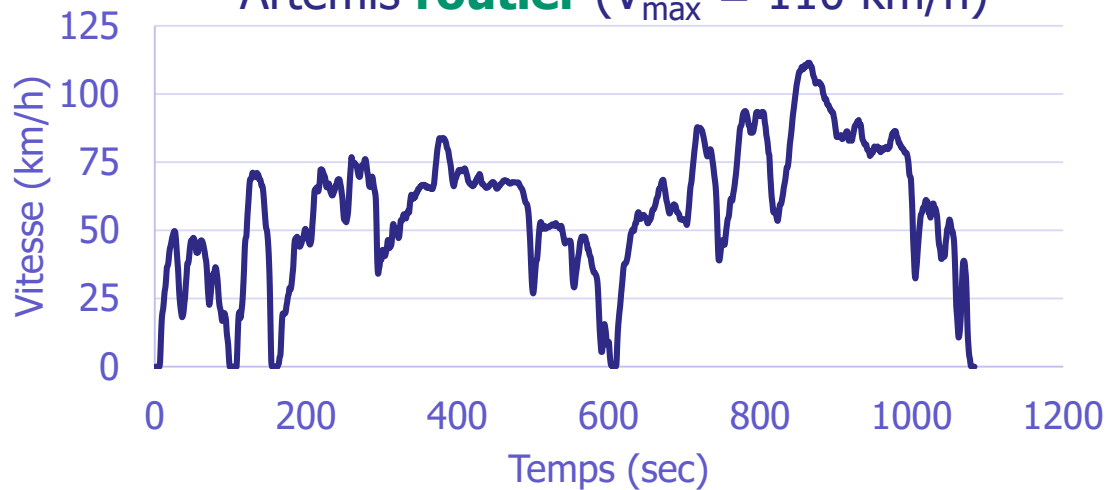
Artémis **urbain** ( $V_{\max} = 60 \text{ km/h}$ ) \*



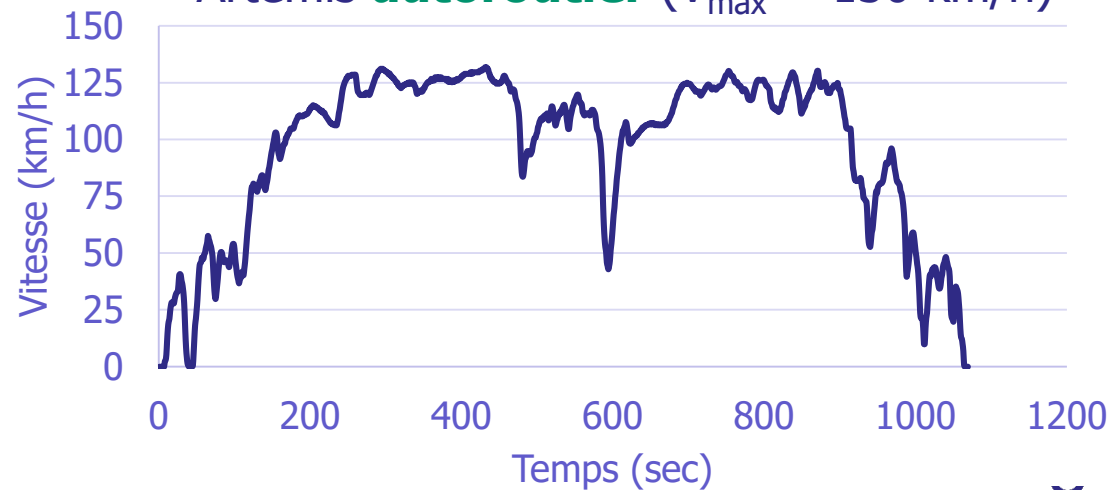
**WLTC** ( $V_{\max} = 130 \text{ km/h}$ ) \*



Artémis **routier** ( $V_{\max} = 110 \text{ km/h}$ )



Artémis **autoroutier** ( $V_{\max} = 130 \text{ km/h}$ )



## Contexte

## Méthodologies

- mesures au laboratoire
- mesures *in situ*

## Résultats

- émissions de mono-sources
- émissions du parc
- comparaison

## Conclusions

# Mesures *in situ* avec un parc réel

## Méthodologie

- Lieu
- Parc et conditions de conduite
- Conditions atmosphériques
- Mesure des émissions





# Mesures *in situ* avec un parc réel

## Méthodologie

- Lieu
- Parc et conditions de conduite
- Conditions atmosphériques
- Mesure des émissions



# Mesures *in situ* avec un parc réel

## Méthodologie

- Lieu
- Parc et conditions de conduite
- Conditions atmosphériques
- Mesure des émissions



# Mesures *in situ* avec un parc réel

## Méthodologie

- Lieu
- Parc et conditions de conduite
- Conditions atmosphériques
- Mesure des émissions



# Mesures *in situ* avec un parc réel

## Méthodologie

- Lieu
- Parc et conditions de conduite
- Conditions atmosphériques
- Mesure des émissions

Camera

Radar



- ❖ Catégorie (VP, VUL, PL, 2-roues)
- ❖ Motorisation (essence, diesel, ...)
- ❖ Norme Euro
- ❖ Comptage
- ❖ Vitesse

Caméra  
Radar



# Mesures *in situ* avec un parc réel

## Méthodologie

- Lieu
- Parc et conditions de conduite
- Conditions atmosphériques
- Mesure des émissions

Caméra  
Radar





# Mesures *in situ* avec un parc réel

## Méthodologie

- Lieu
- Parc et conditions de conduite
- Conditions atmosphériques
- Mesure des émissions

Caméra  
Radar

Station  
météo



- ❖ Température
- ❖ Pression
- ❖ Humidité
- ❖ Vent (vitesse, direction)



# Mesures *in situ* avec un parc réel

## Méthodologie

- Lieu
- Parc et conditions de conduite
- Conditions atmosphériques
- Mesure des émissions





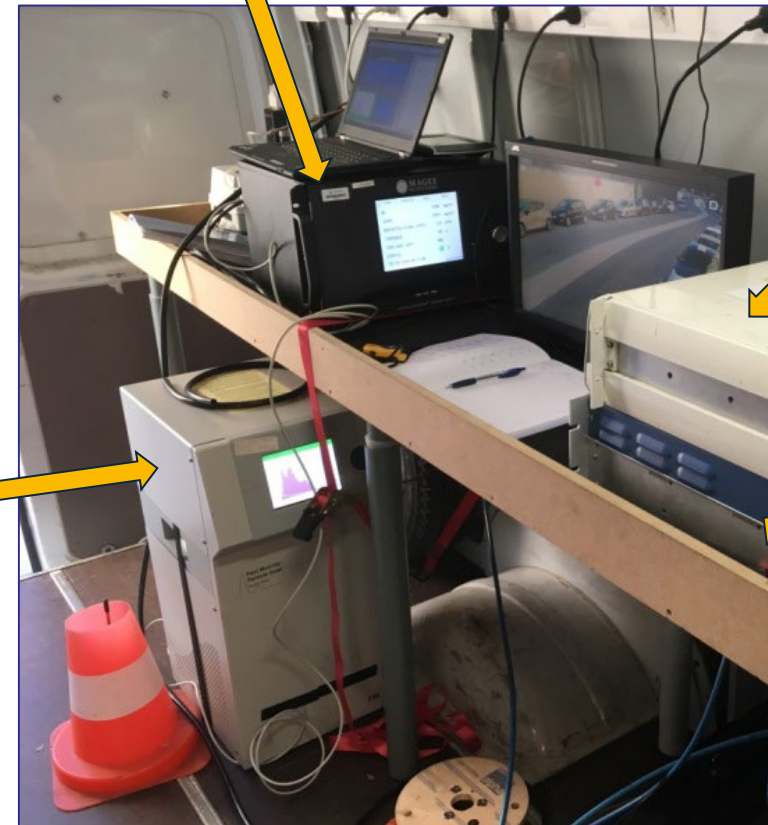
# Mesures *in situ* avec un parc réel

## Méthodologie

- Lieu
- Parc et conditions de conduite
- Conditions atmosphériques
- Mesure des émissions



FMPS  
(particules)



AE33  
(BC)

EcoPhysics  
(NO<sub>x</sub>)

MIR  
(CO<sub>2</sub>)



# Mesures *in situ* avec un parc réel

## Méthodologie

- Lieu
- Parc et conditions de conduite
- Conditions atmosphériques
- Mesure des émissions

$$FE_X = \frac{\Delta X}{\Delta NO_x} \times FE_{NO_x}$$

- ❖ FE = facteur d'émission = quantité / km
- ❖  $\Delta$  = [site de mesure] – [background]
- ❖  $FE_{NO_x}$  : obtenu avec COPERT5 selon le parc enregistré



## Contexte

## Méthodologies

- mesures au laboratoire
- mesures *in situ*

## Résultats

- émissions de mono-sources
- émissions du parc
- comparaison

## Conclusions

## Contexte

## Méthodologies

- mesures au laboratoire
- mesures *in situ*

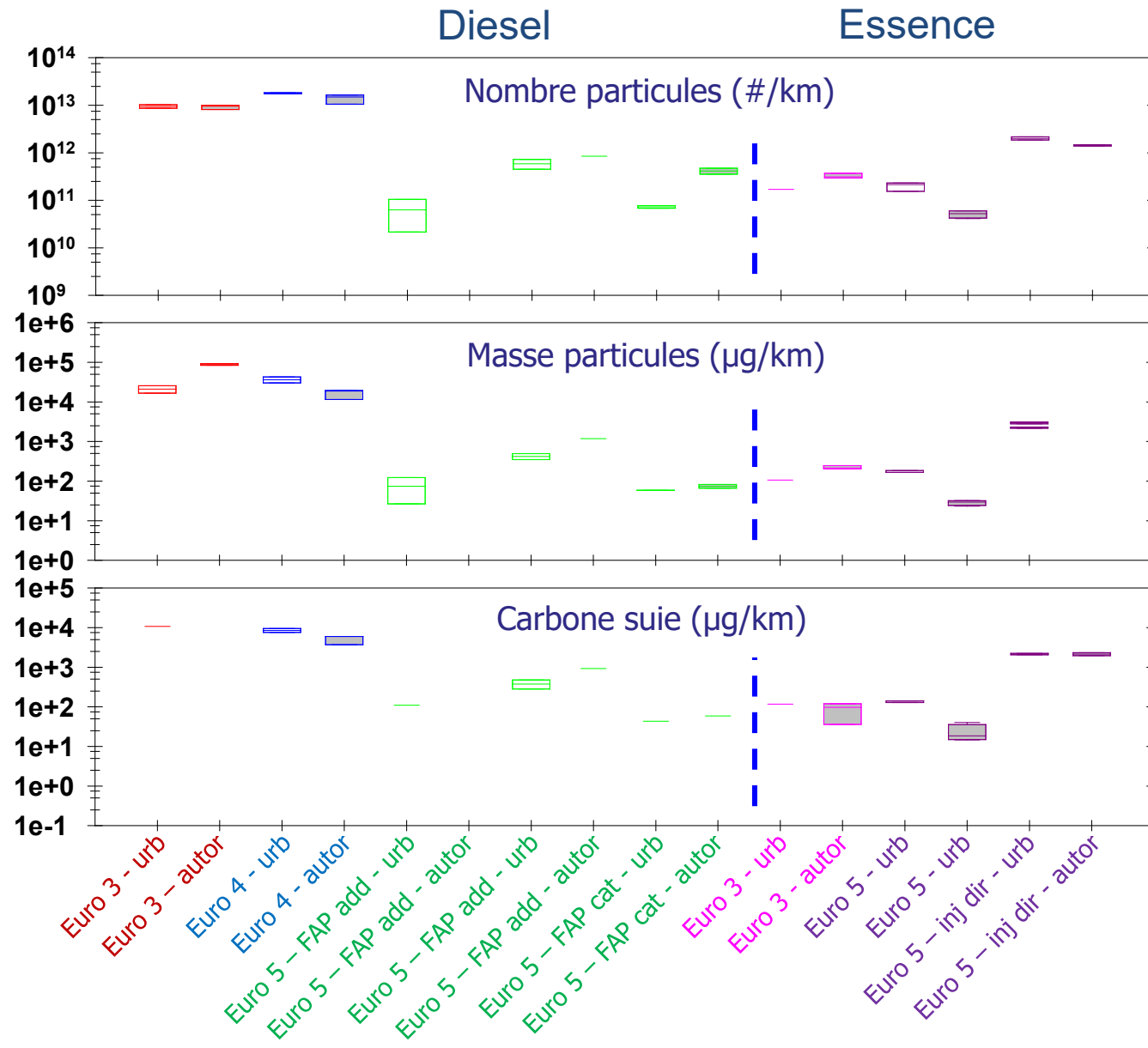
## Résultats

- émissions de mono-sources
- émissions du parc
- comparaison

## Conclusions

# Facteurs d'émission (FE) des particules

## Impact de la norme et des technologies

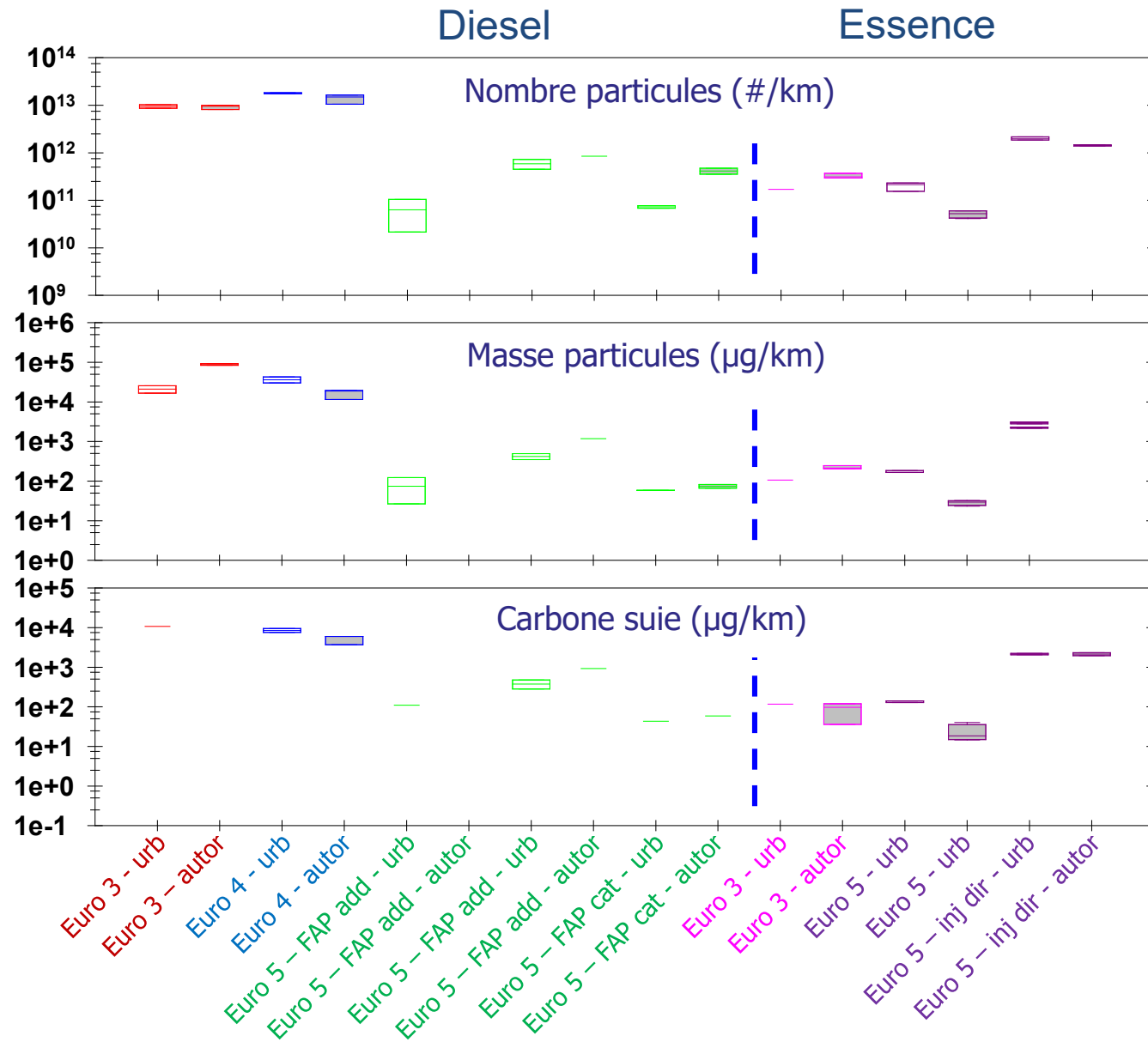


# Facteurs d'émission (FE) des particules

## Impact de la norme et des technologies

### Diesel

- Efficacité du FAP (facteur 10-100)
- Variabilité selon type de FAP et entretien



# Facteurs d'émission (FE) des particules

## Impact de la norme et des technologies

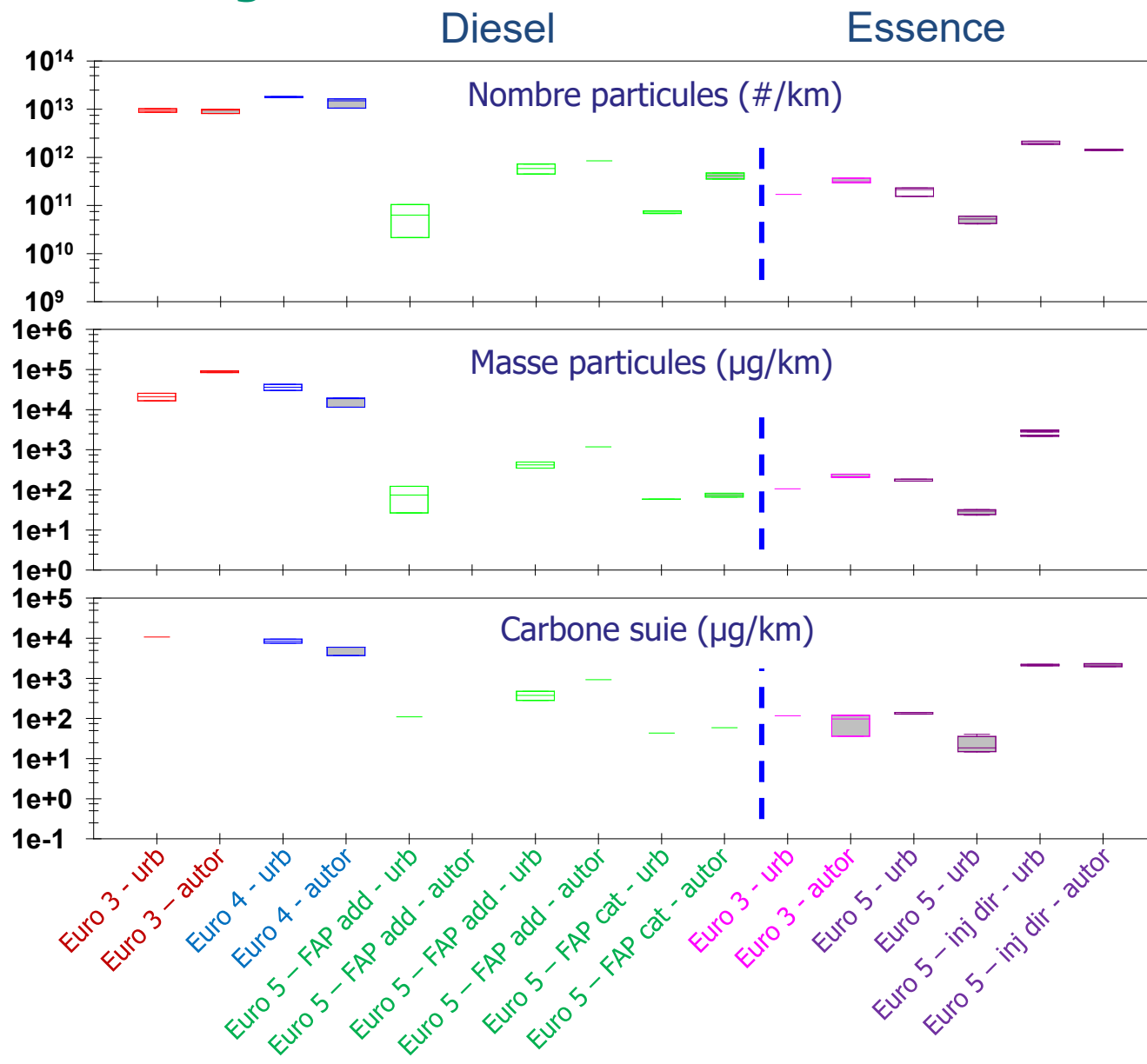
### Diesel

→ Efficacité du FAP (facteur 10-100)

→ Variabilité selon type de FAP et entretien

### Essence

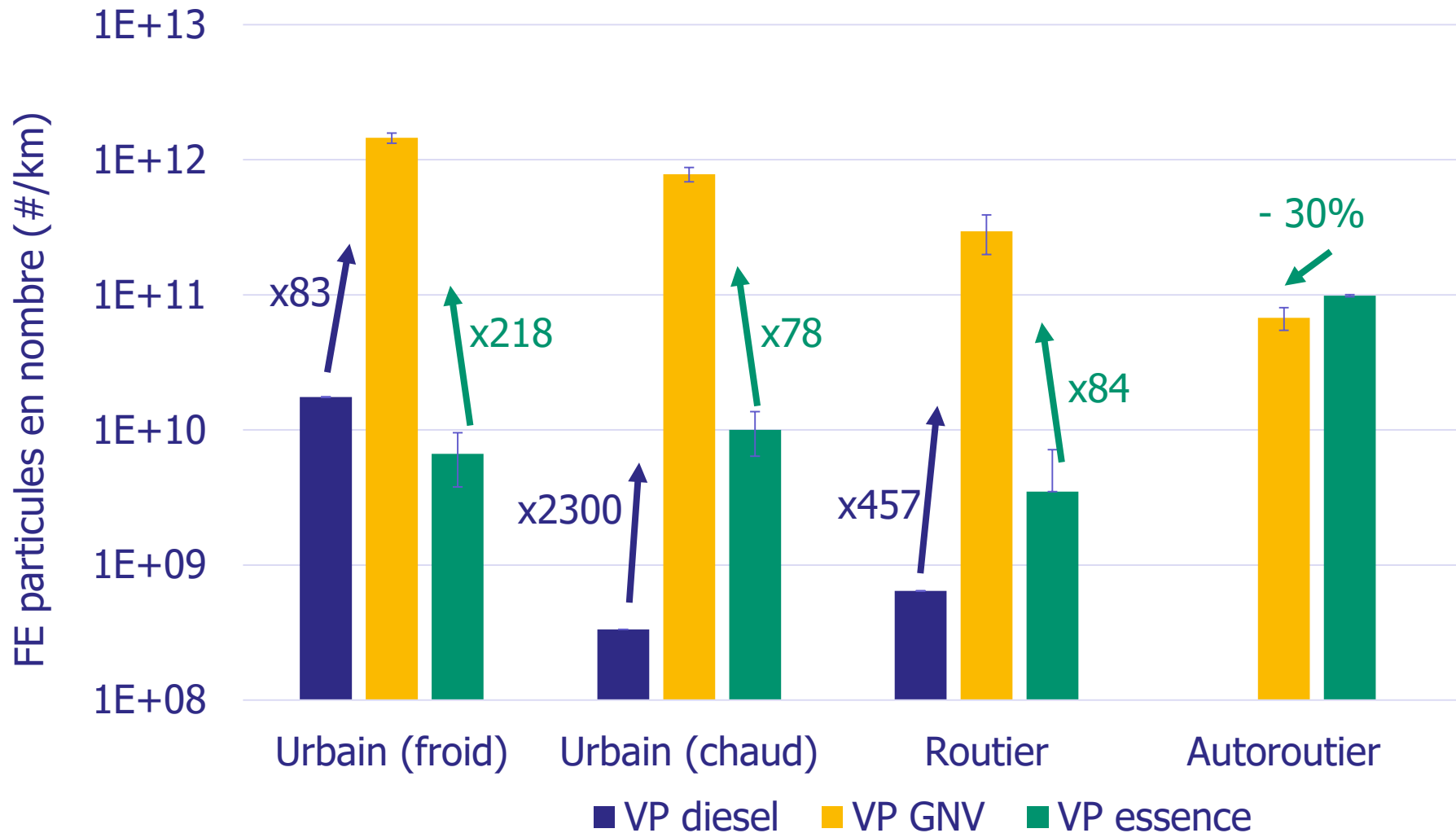
→ Injection directe sans FAP induit ↗ émissions (~ 10x)





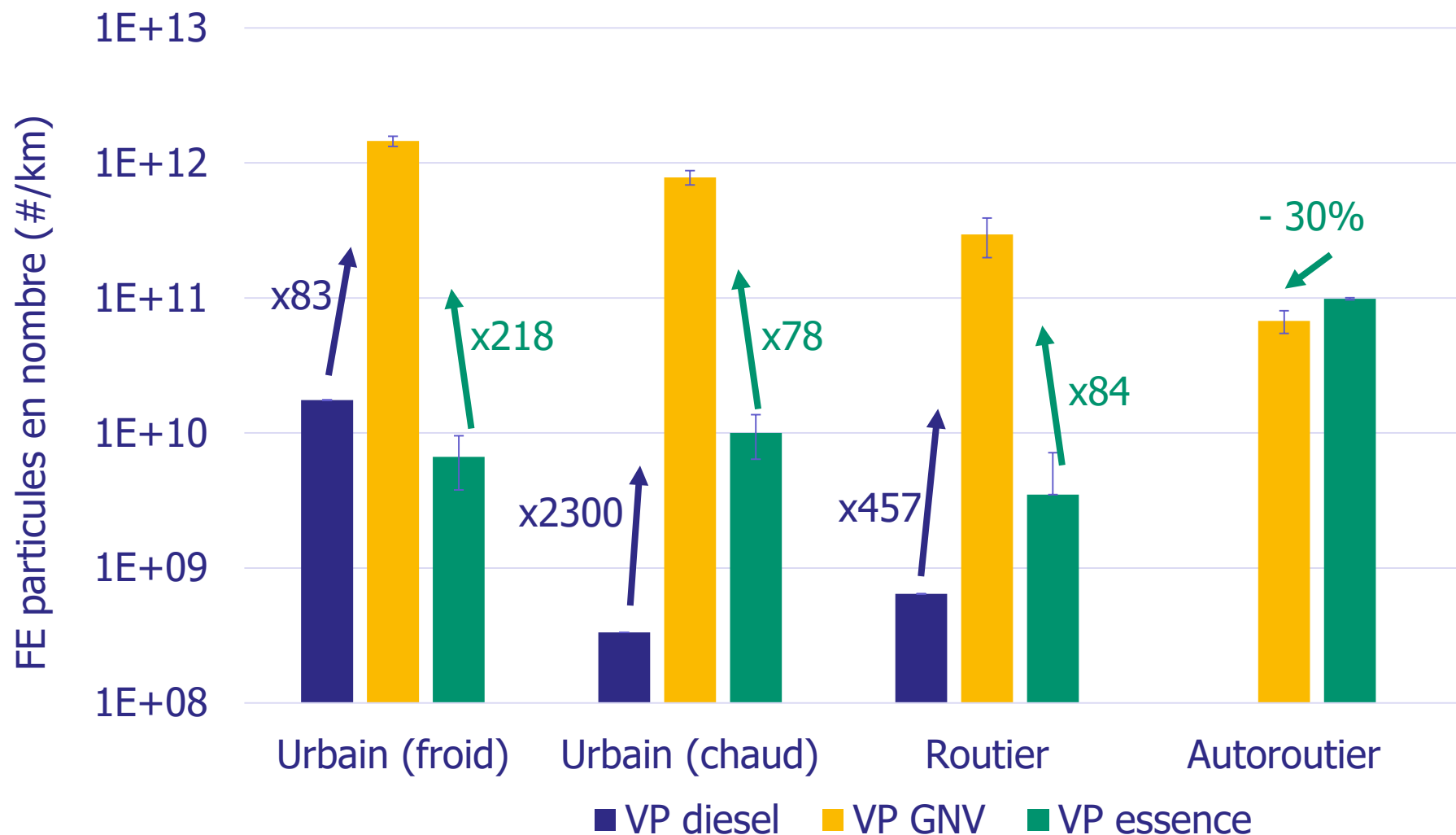
# Facteurs d'émission des particules

## Impact de la motorisation (VP Euro 6)



# Facteurs d'émission des particules

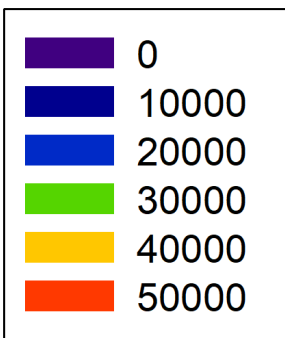
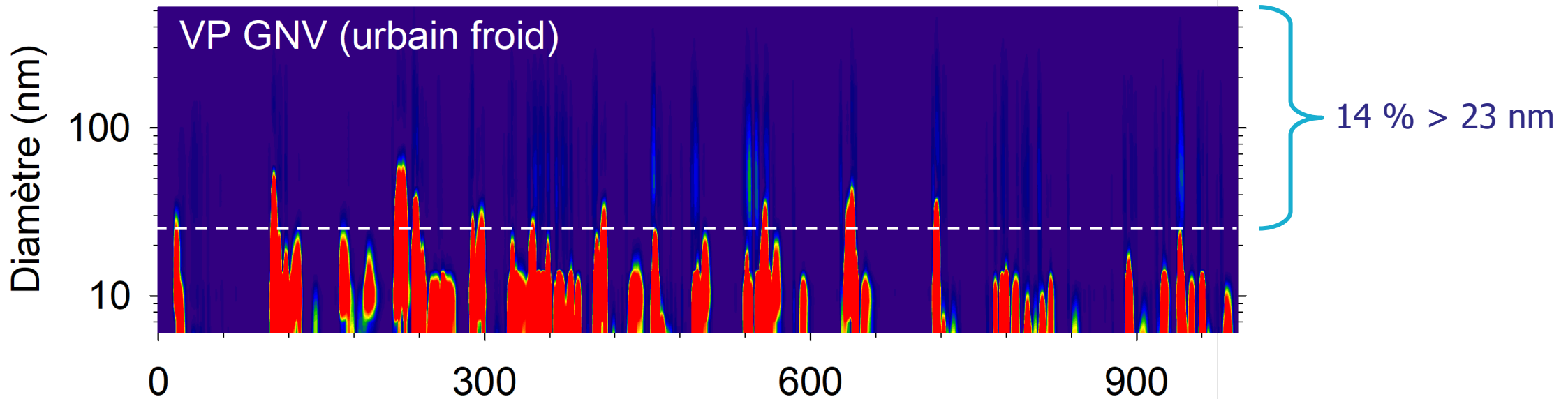
## Impact de la motorisation (VP Euro 6)



→ Hausse des particules significative avec le GNV

# Facteurs d'émission des particules

## Impact de la motorisation (VP Euro 6)



$dN/d\log D_p$  ( $\#/cm^3$ )

→ Particules du VP GNV ultrafines en grande majorité (non mesurées avec la norme)



## Contexte

## Méthodologies

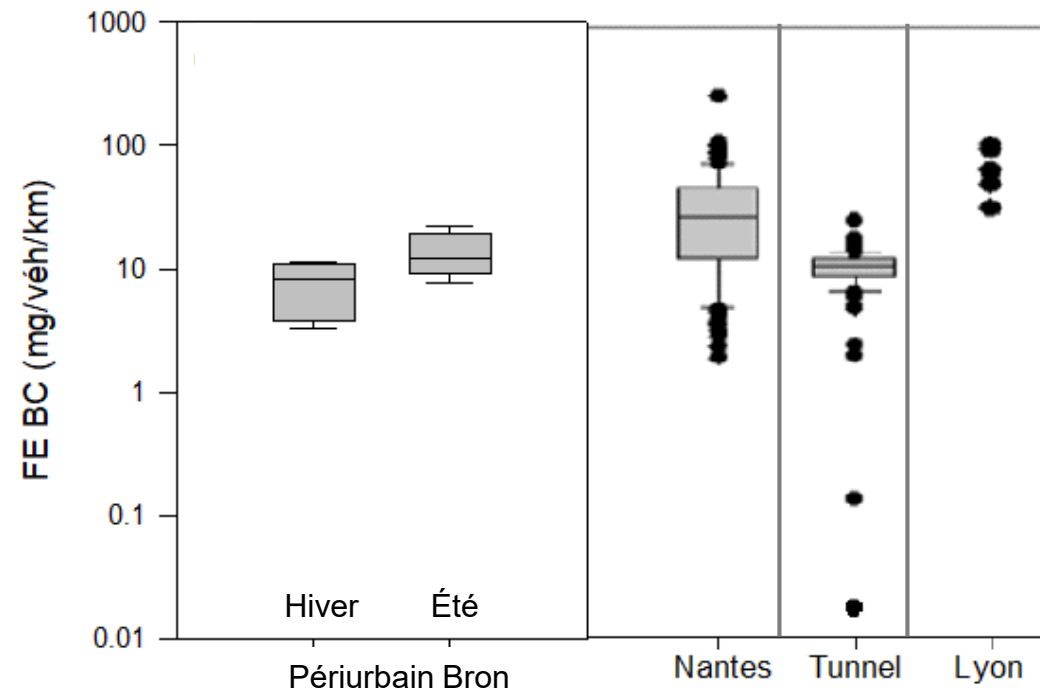
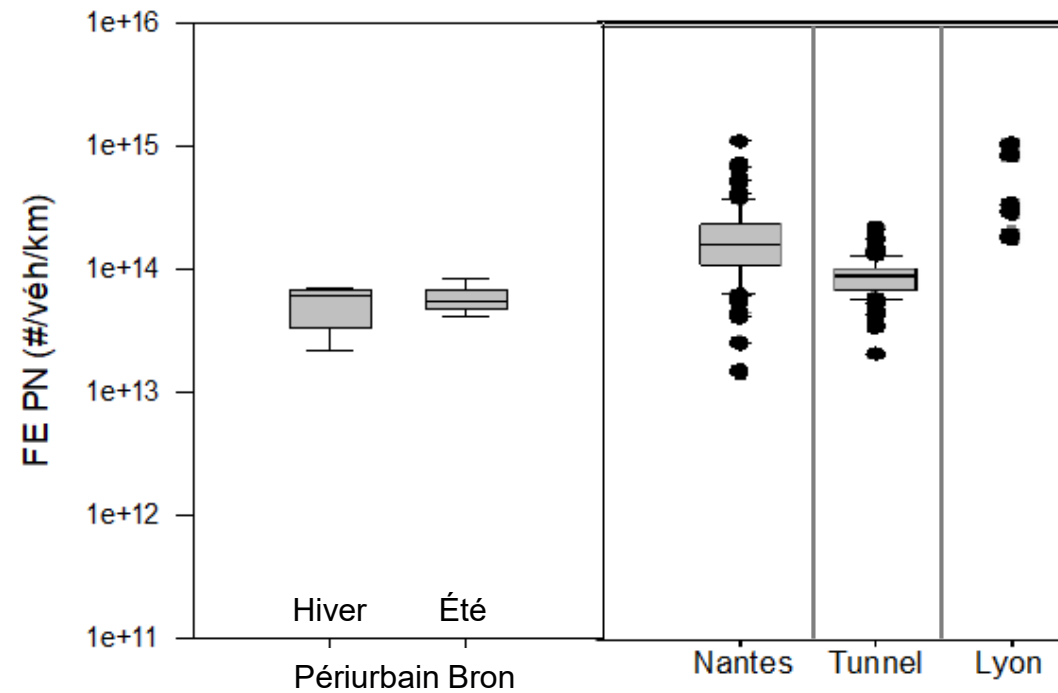
- mesures au laboratoire
- mesures *in situ*

## Résultats

- émissions de mono-sources
- émissions du parc
- comparaison

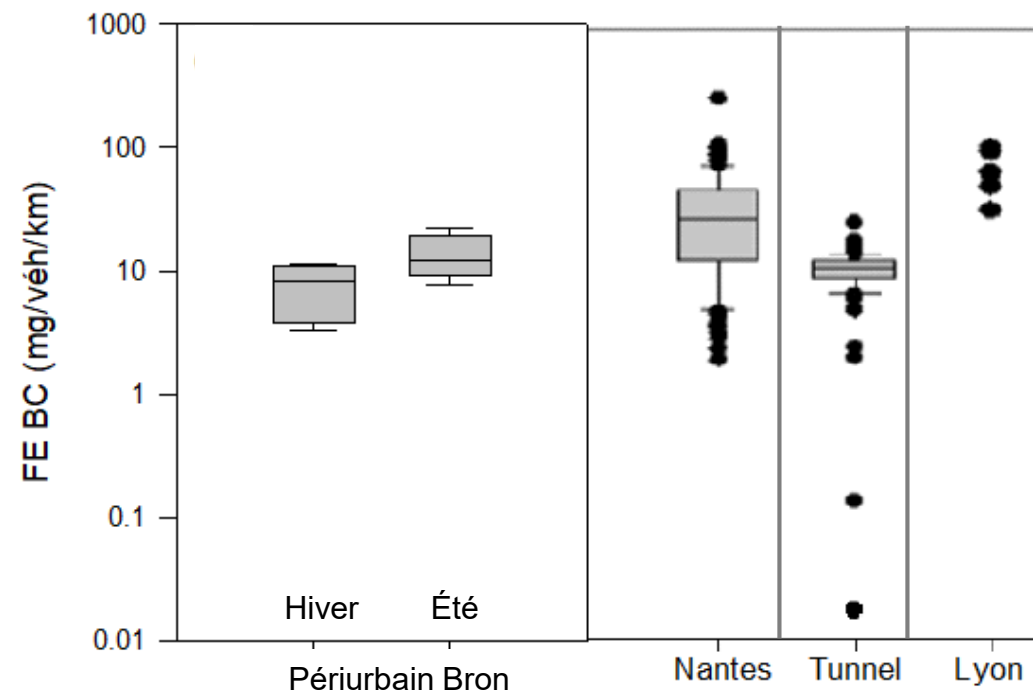
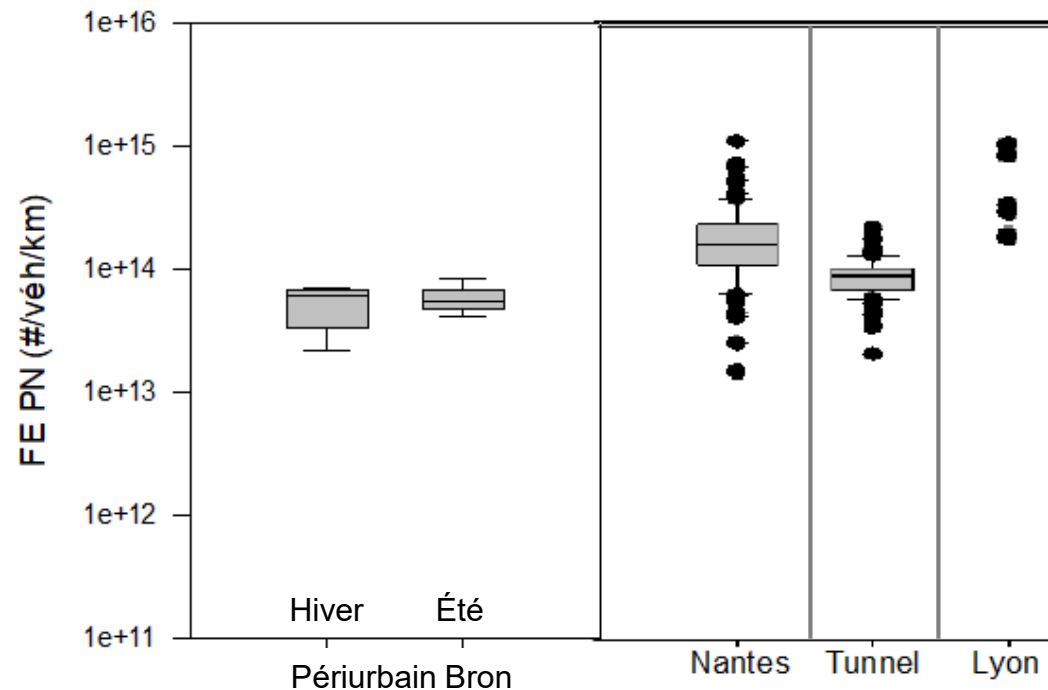
## Conclusions

# FE *in situ* PN et BC



## FE *in situ* PN et BC

FE Nantes < Lyon (facteur ~ 5)  
→ Démarrage à froid (mesures le matin à Lyon)

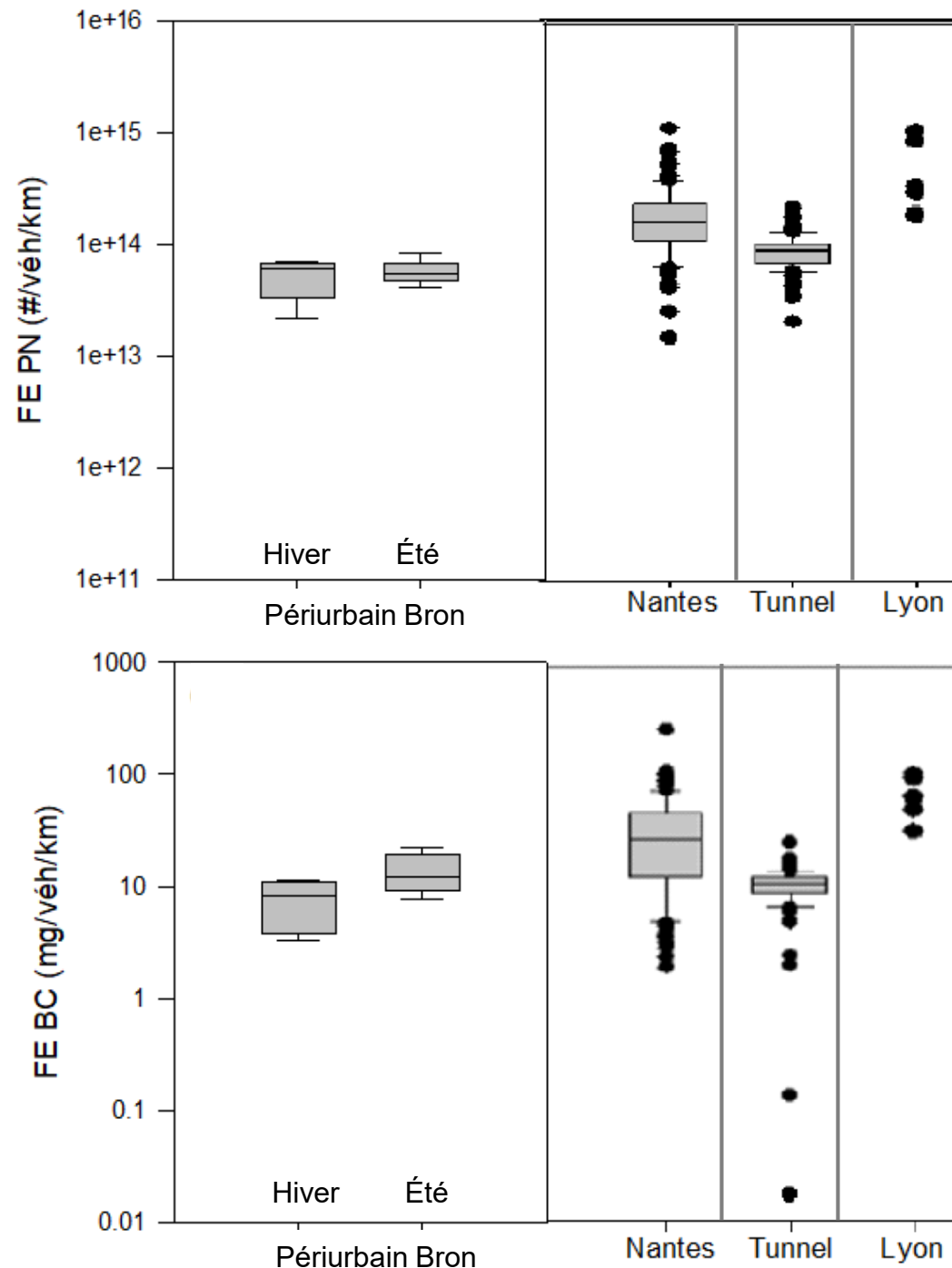




## FE *in situ* PN et BC

FE Nantes < Lyon (facteur ~ 5)  
→ Démarrage à froid (mesures le matin à Lyon)

FE tunnel < ville (Nantes / Lyon)  
→ Parc tunnel + récent

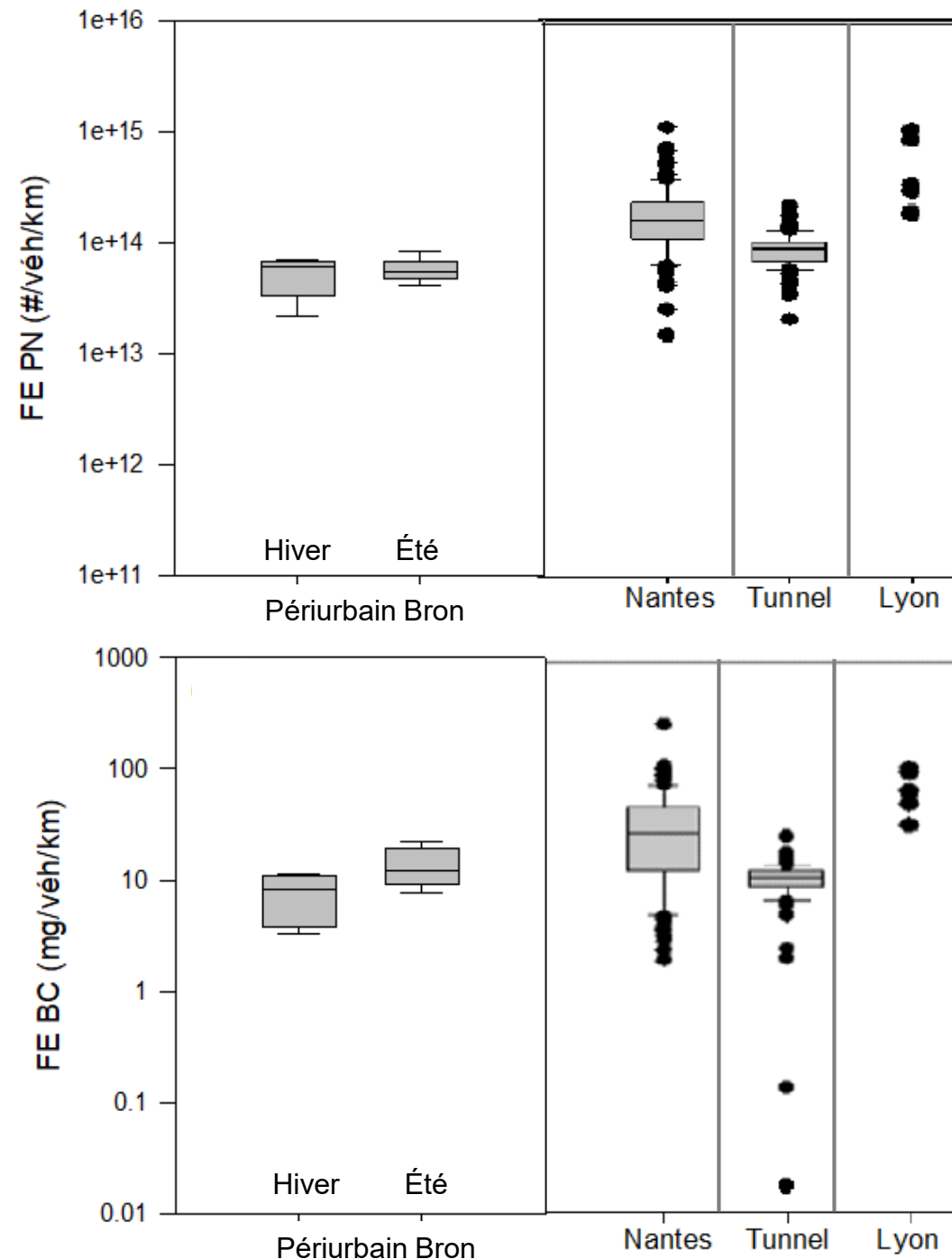


## FE *in situ* PN et BC

FE Nantes < Lyon (facteur ~ 5)  
→ Démarrage à froid (mesures le matin à Lyon)

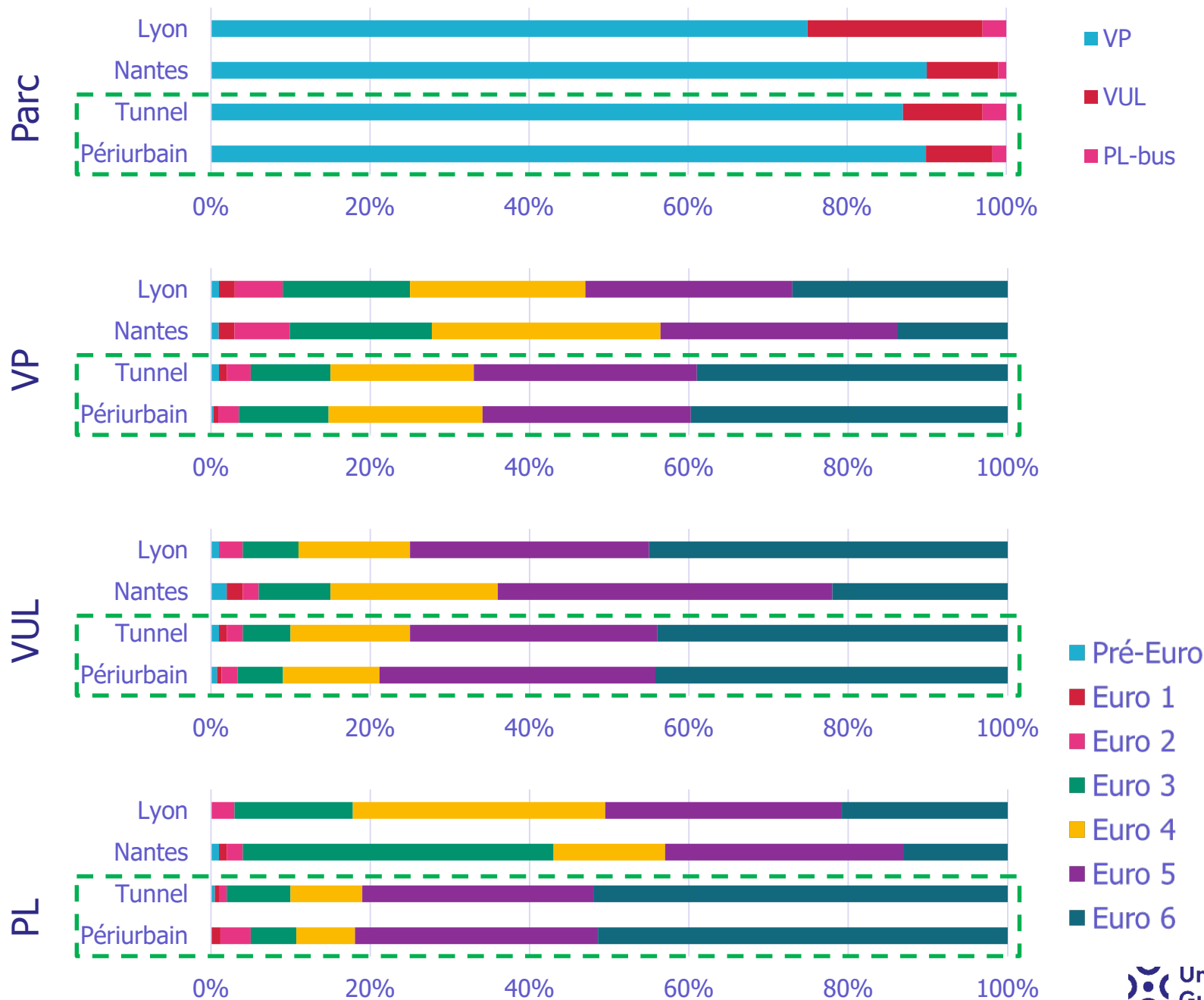
FE tunnel < ville (Nantes / Lyon)  
→ Parc tunnel + récent

FE périurbain Bron = tunnel  
→ Parcs identiques



# FE *in situ* PN et BC

Parc périurbain = parc tunnel



# FE *in situ* PN et BC

Parc périurbain = parc tunnel

- Similitude des FE tunnel / périurbain car parcs similaires
- Impact négligeable de l'environnement de mesure
- Méthode bien adaptée pour étudier spécificités du parc



# FE *in situ* PN et BC

Parc périurbain = parc tunnel

- Similitude des FE tunnel / périurbain car parcs similaires
- Impact négligeable de l'environnement de mesure
- Méthode bien adaptée pour étudier spécificités du parc

➔ **Méthode transposable à des sites d'intérêt**



## Contexte

## Méthodologies

- mesures au laboratoire
- mesures *in situ*

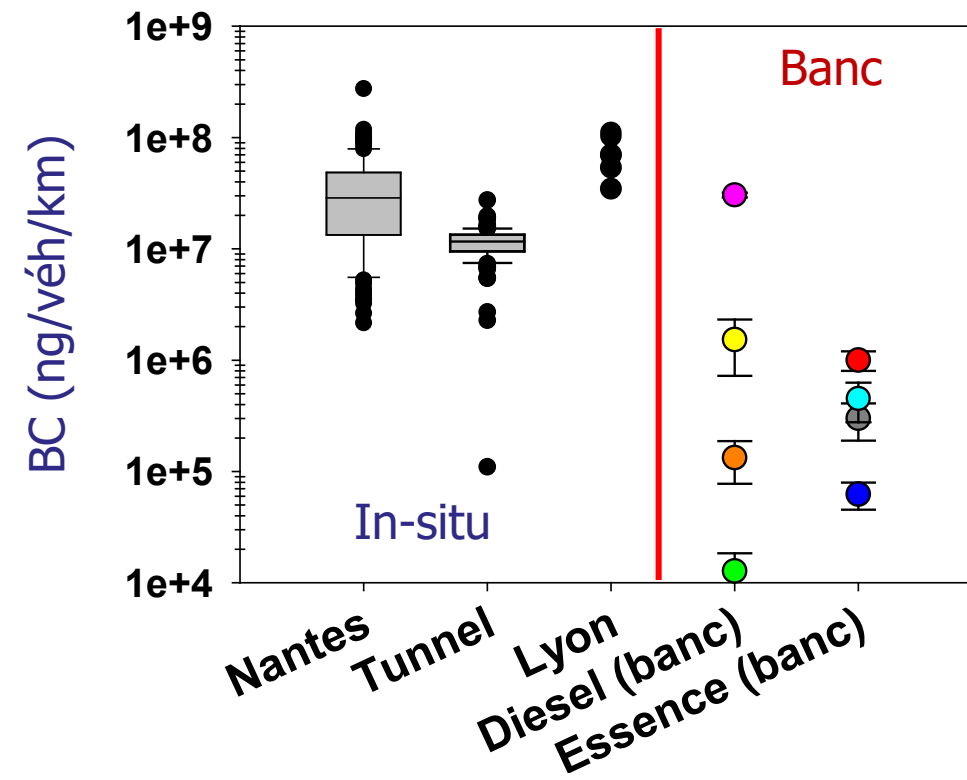
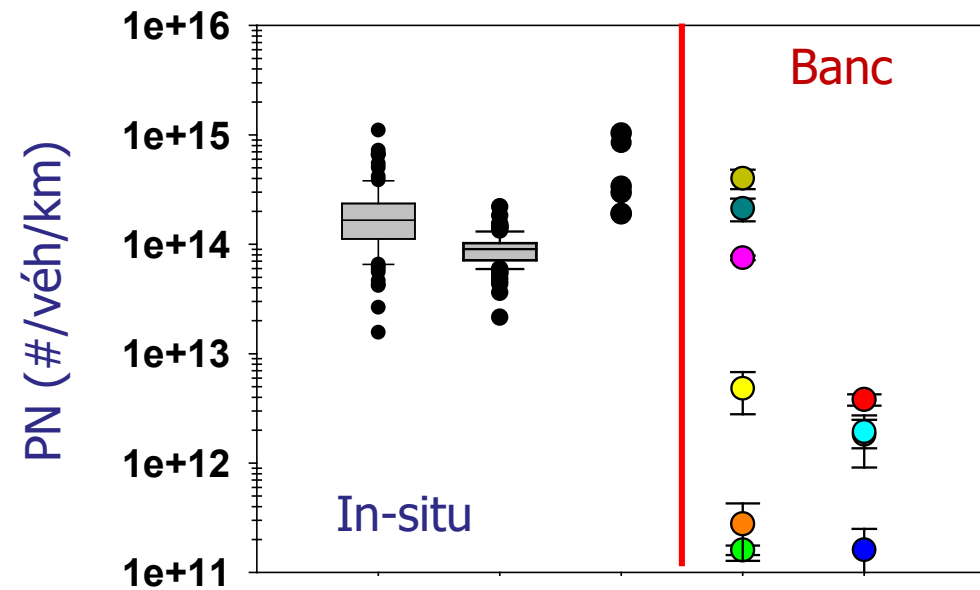
## Résultats

- émissions de mono-sources
- émissions du parc
- comparaison

## Conclusions



# Comparaison Mono-sources / parc réel



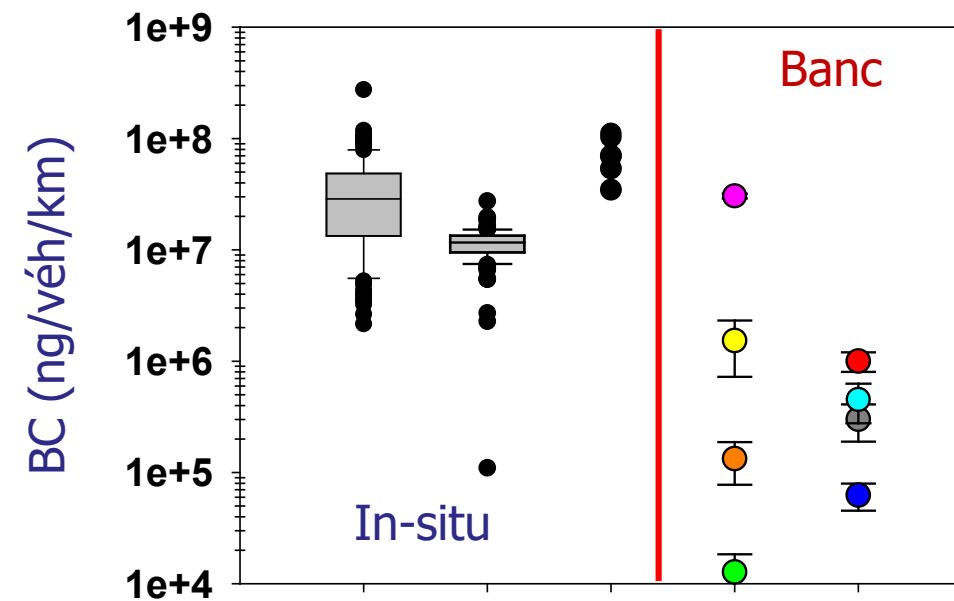
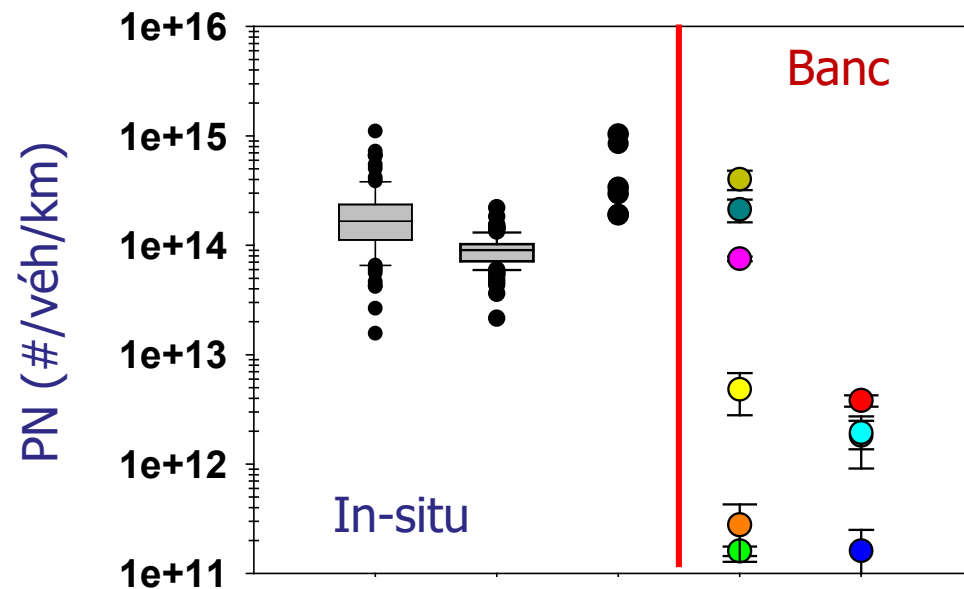
- Euro 3 Diesel
- Euro 2 Diesel
- Euro 1 Diesel
- Euro 6 Diesel
- Euro 5 Diesel
- Euro 4 Diesel
- Euro 4 essence
- Euro 3 essence
- Euro 6 essence
- Euro 5 essence



# Comparaison Mono-sources / parc réel

FE banc + étalés que *in situ*

→ Grande influence des motorisations et technologies



- Euro 3 Diesel
- Euro 2 Diesel
- Euro 1 Diesel
- Euro 6 Diesel
- Euro 5 Diesel
- Euro 4 Diesel
- Euro 4 essence
- Euro 3 essence
- Euro 6 essence
- Euro 5 essence

# Comparaison Mono-sources / parc réel

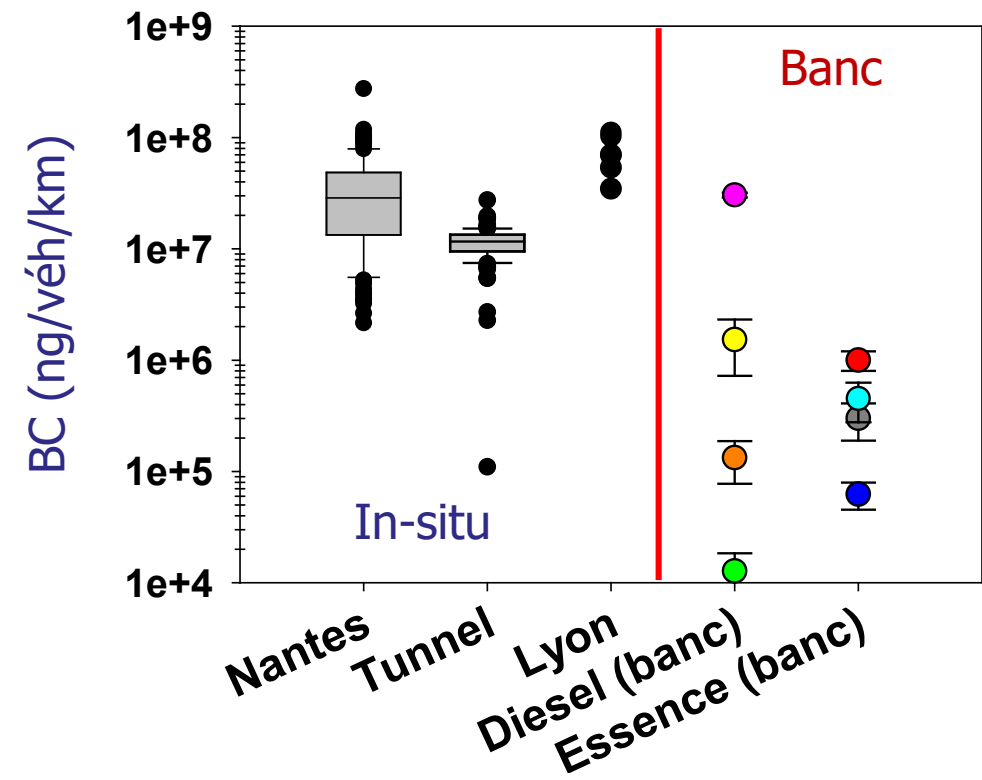
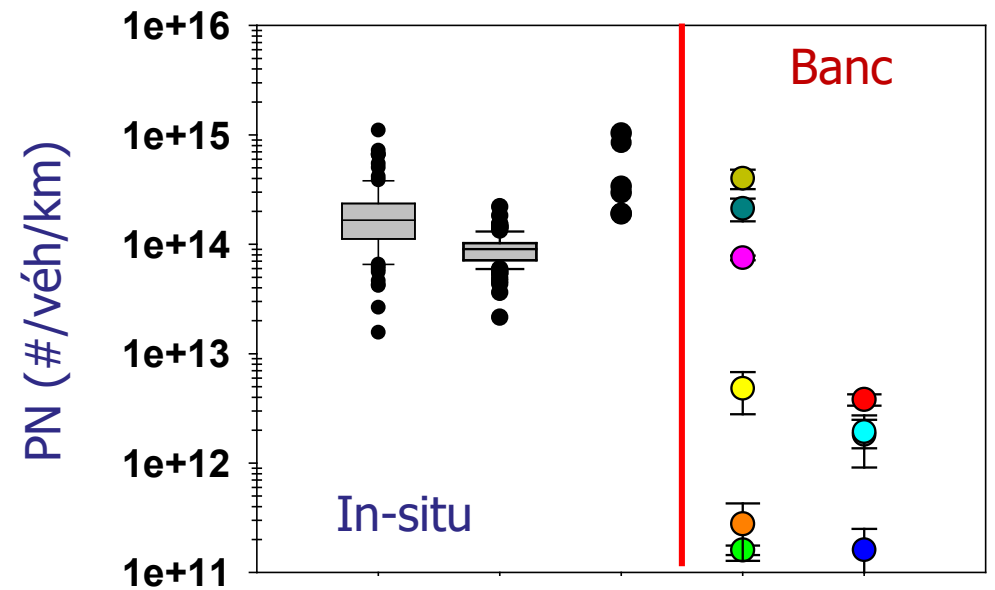
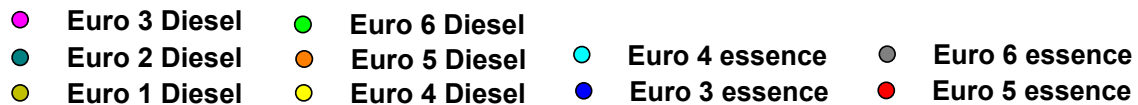
FE banc + étalés que *in situ*

→ Grande influence des motorisations et technologies

FE *in situ* > FE banc

→ Émissions hors échappement

→ Hors échappement pourrait représenter ~ 10-20 % du nombre de particules émises par le trafic routier



## Contexte

## Méthodologies

- mesures au laboratoire
- mesures *in situ*

## Résultats

- émissions de mono-sources
- émissions du parc
- comparaison

## Conclusions

# Conclusions

## Études de mono-sources au laboratoire

### Diesel

→ Efficacité du FAP (Euro3-4 vs Euro5-6)

### Essence

→ Injection directe induit ↗ émissions (~ 10x)

→ Efficacité du FAP (↘ facteur 10-100)

### GNV

→ ↗ émissions particules ultrafines (non mesurées avec la norme)

→ **Spécificités des motorisations / technologies**



# Conclusions

## Études de mono-sources au laboratoire

### Diesel

→ Efficacité du FAP (Euro3-4 vs Euro5-6)

### Essence

→ Injection directe induit ↗ émissions (~ 10x)

→ Efficacité du FAP (↘ facteur 10-100)

### GNV

→ ↗ émissions particules ultrafines (non mesurées avec la norme)

→ **Spécificités des motorisations / technologies**

## Études *in situ* avec parc réel

→ Démarrage à froid (mesures le matin à Lyon)

→ Impact négligeable de l'environnement de mesure

→ Méthode bien adaptée pour étudier spécificités du parc

→ Émissions hors échappement

→ **Étude des parcs réels en circulation**





# Conclusions

## Études de mono-sources au laboratoire

### Diesel

→ Efficacité du FAP (Euro3-4 vs Euro5-6)

### Essence

→ Injection directe induit ↗ émissions (~ 10x)

→ Efficacité du FAP (↘ facteur 10-100)

### GNV

→ ↗ émissions particules ultrafines (non mesurées avec la norme)

→ **Spécificités des motorisations / technologies**

## Études *in situ* avec parc réel

→ Démarrage à froid (mesures le matin à Lyon)

→ Impact négligeable de l'environnement de mesure

→ Méthode bien adaptée pour étudier spécificités du parc

→ Émissions hors échappement

→ **Étude des parcs réels en circulation**



**Complémentarité**

# Merci pour votre attention

**Boris Vansevenant**

boris.vansevenant@univ-eiffel.fr

Laboratoire EASE



JOURNÉES  
**MOBILITÉS**  
DU RÉSEAU  
SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE