

Modélisation de la pollution et de l'exposition en Ile-de-France

Impact sur la santé

Myrto Valari (Physicien Adjoint)

Konstandinos Markakis (Post Doc depuis 2012)

Delphy Rodriguez (These depuis 2015)

1) Modélisation de la pollution

- De l'échelle régionale à l'échelle locale
- Développement du modèle "sous-maille"

2) Modélisation de l'exposition

- Déplacements
- Qualité de l'air intérieure
- De la population aux expositions personnels

3) Impact sur la santé

- Vulnérabilité des populations
- Effet des co-polluants

Le modèle régional de chimie transport CHIMERE

www.chimere.lmd.polytechnique.fr

Globale

Climat global

Emissions globales gas à effet de serre

Chimie global

Régionale

Downscaling

Météo régionale

Chimere

Chimie, Transport, dépôt

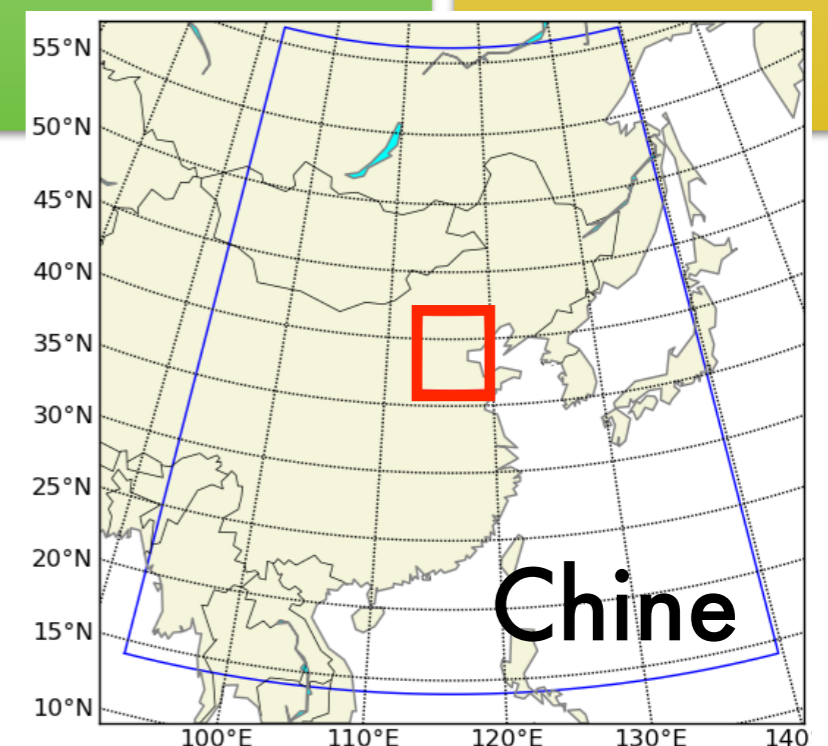
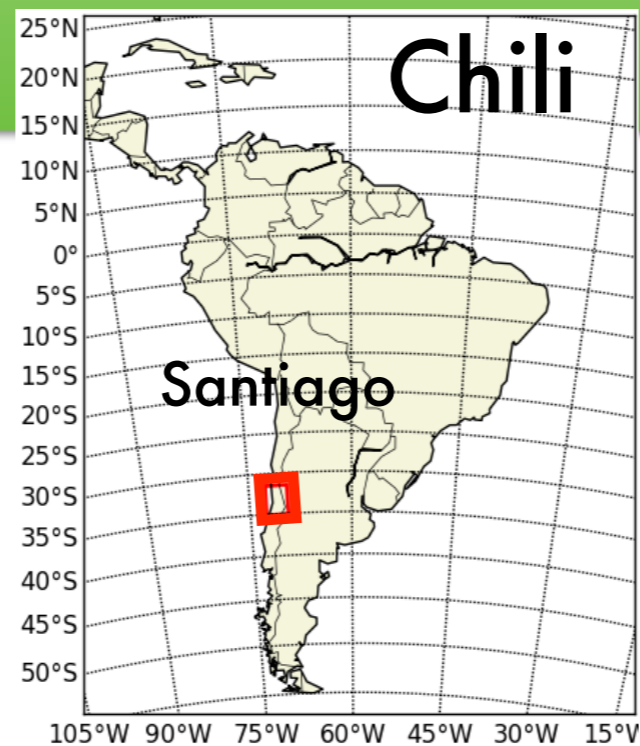
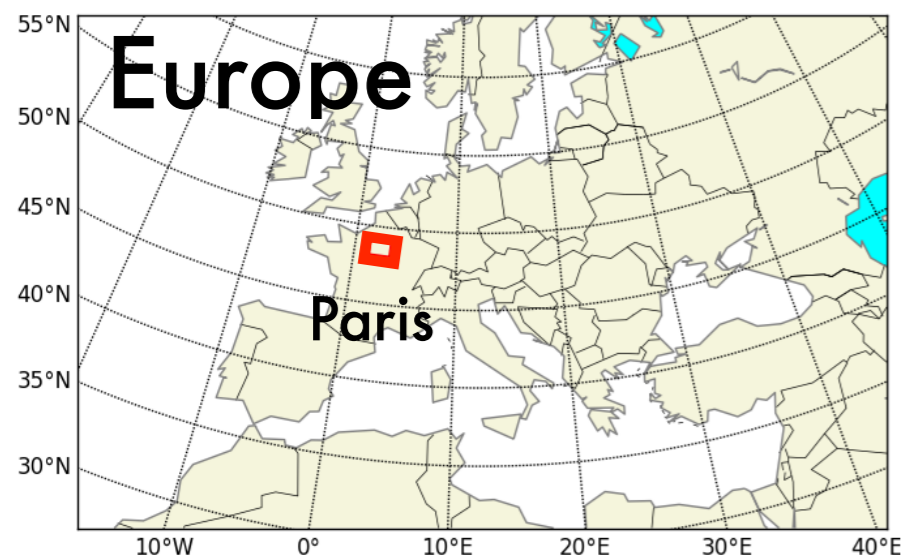
Emissions

Locale

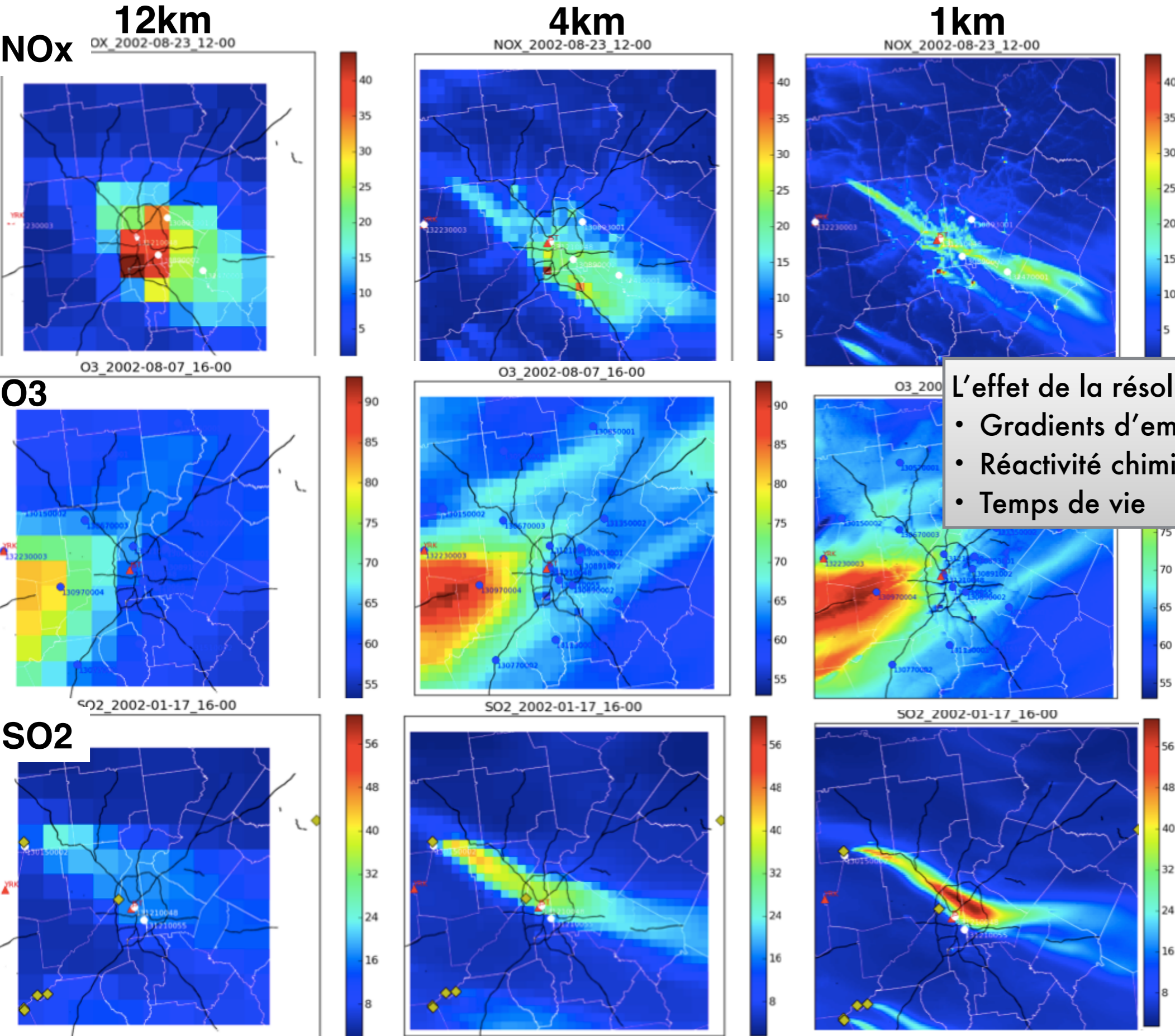


Concentrations des polluants

?



Décente en échelle: croissance de la résolution du modèle



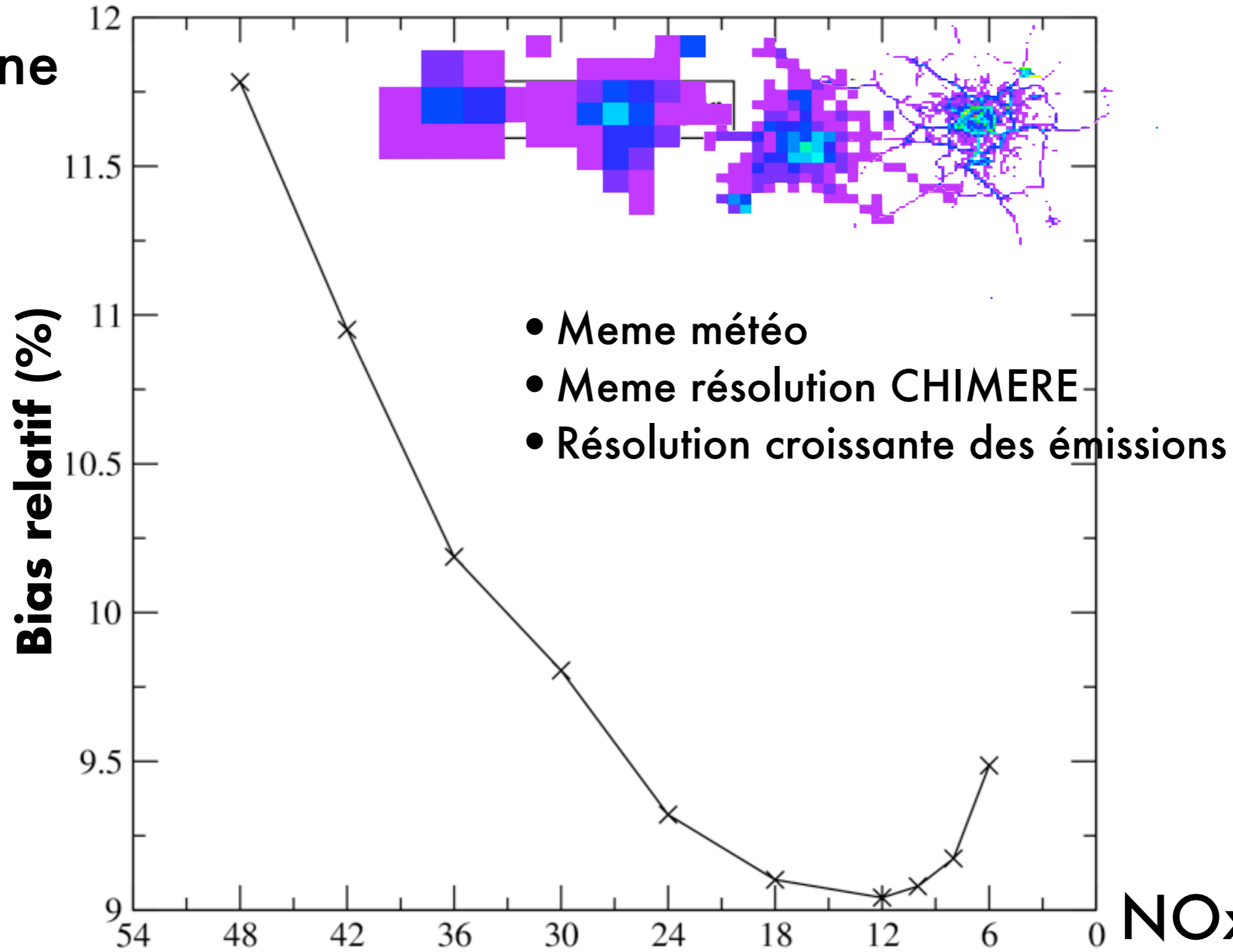
L'effet de la résolution dépend du polluant

- Gradients d'émissions
- Réactivité chimique
- Temps de vie

Effet de la résolution

Erreur du modèle CHIMERE f (emissions resolution)

Ozone



NOx

Resolution des émissions (km) [Valari and Menut, 2008]

1) Modélisation de la pollution

- De l'échelle régionale à l'échelle locale
- Développement du modèle "sous-maille"

2) Modélisation de l'exposition

- Déplacements
- Qualité de l'air intérieure
- De la population aux expositions personnels

3) Impact sur la santé

- Vulnérabilité des populations
- Effet des co-polluants

Variabilité de la pollution intra-urbaine

Processus sous-maille pour CHIMERE

Advection

Emission

Perte (chimie+dépôt)

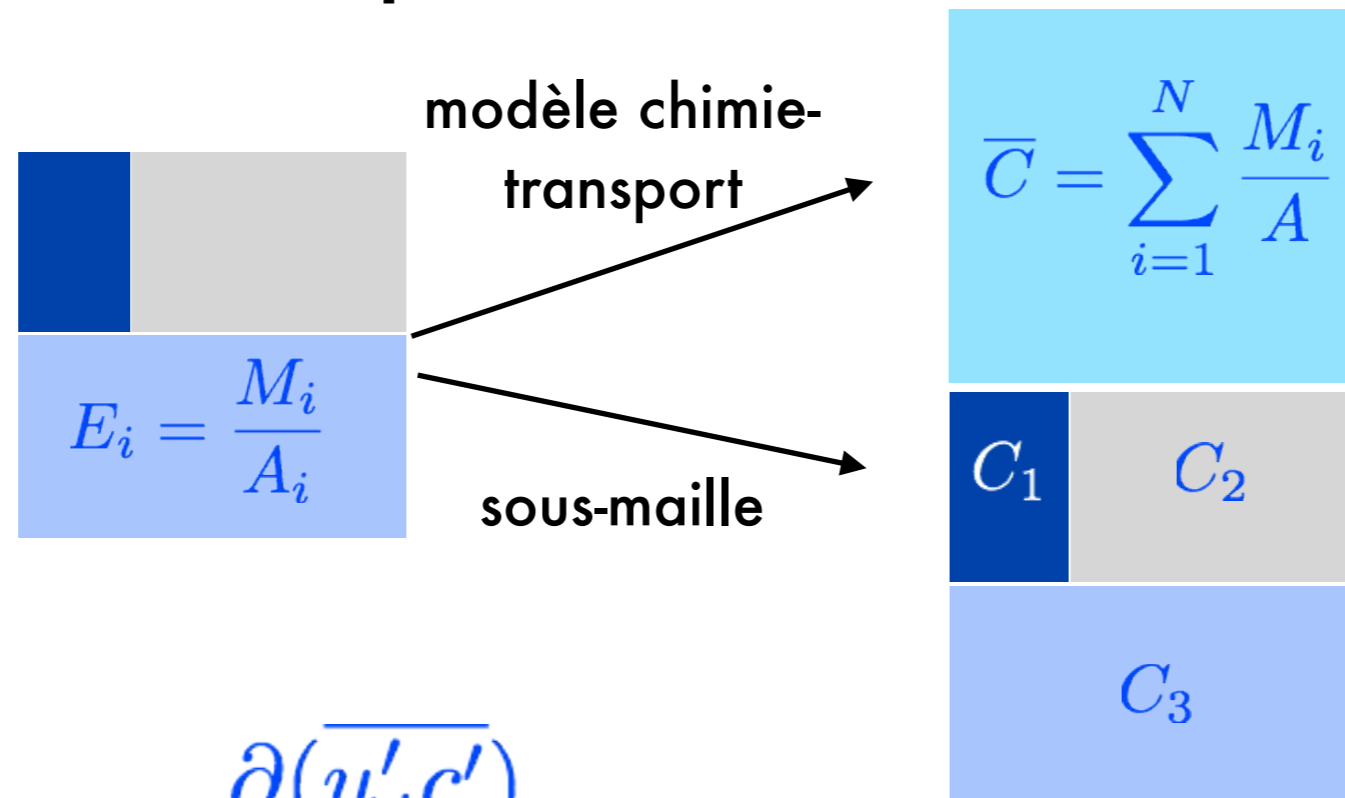
$$\frac{\partial c}{\partial t} + u_j \frac{\partial c_j}{\partial x_j} = - \frac{\partial(\overline{u'_j c'})}{\partial x_j} + E + P(c) + L(c)$$

Melange turbulent

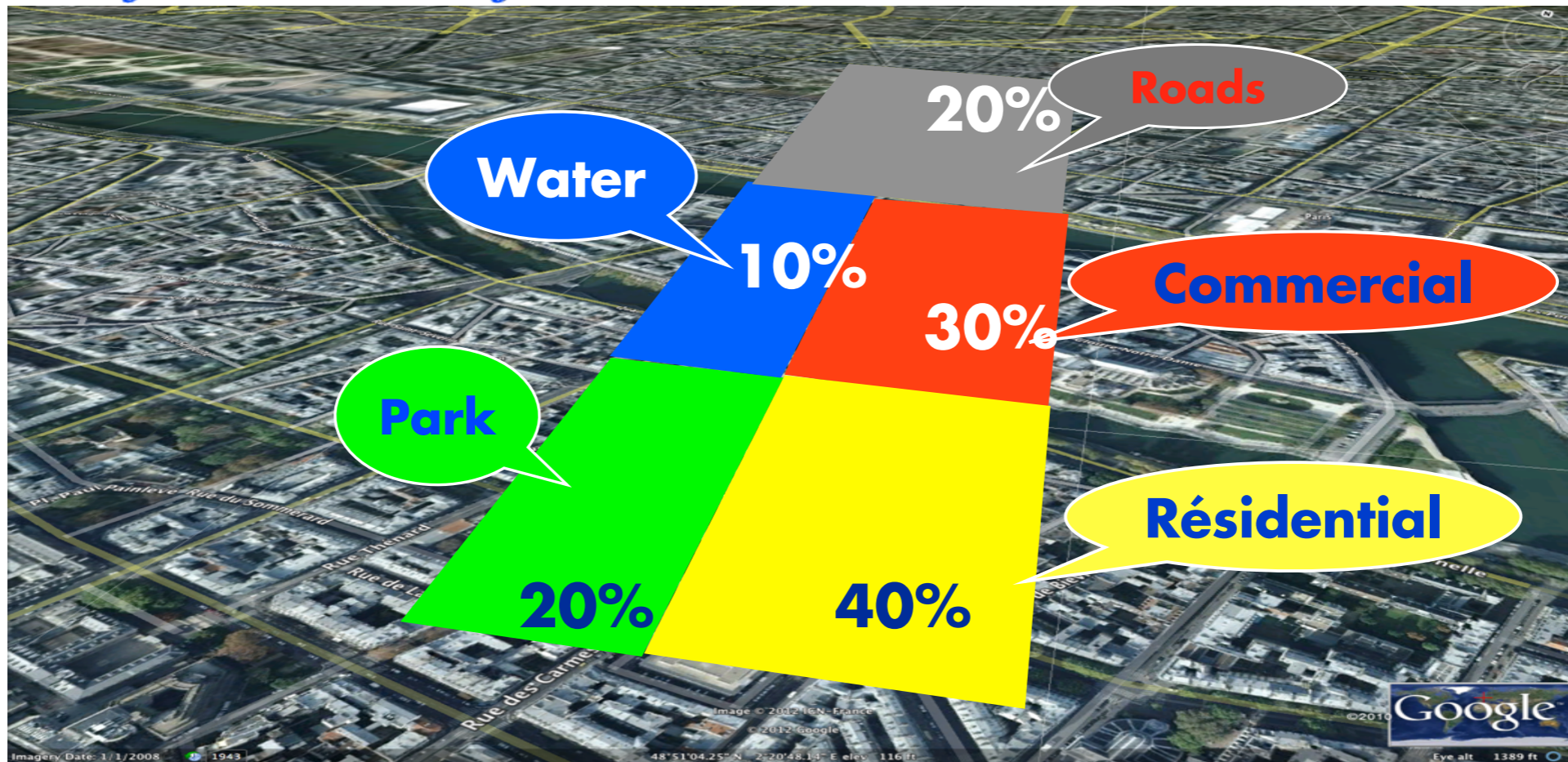
Production chimique



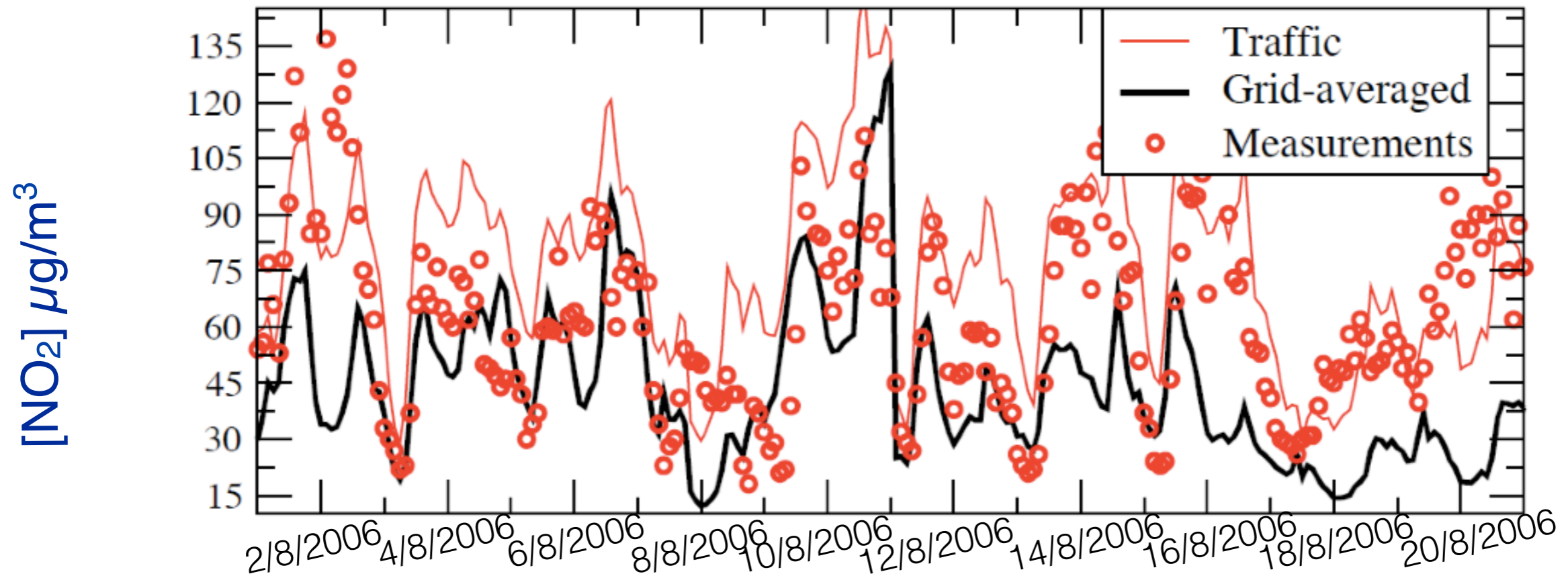
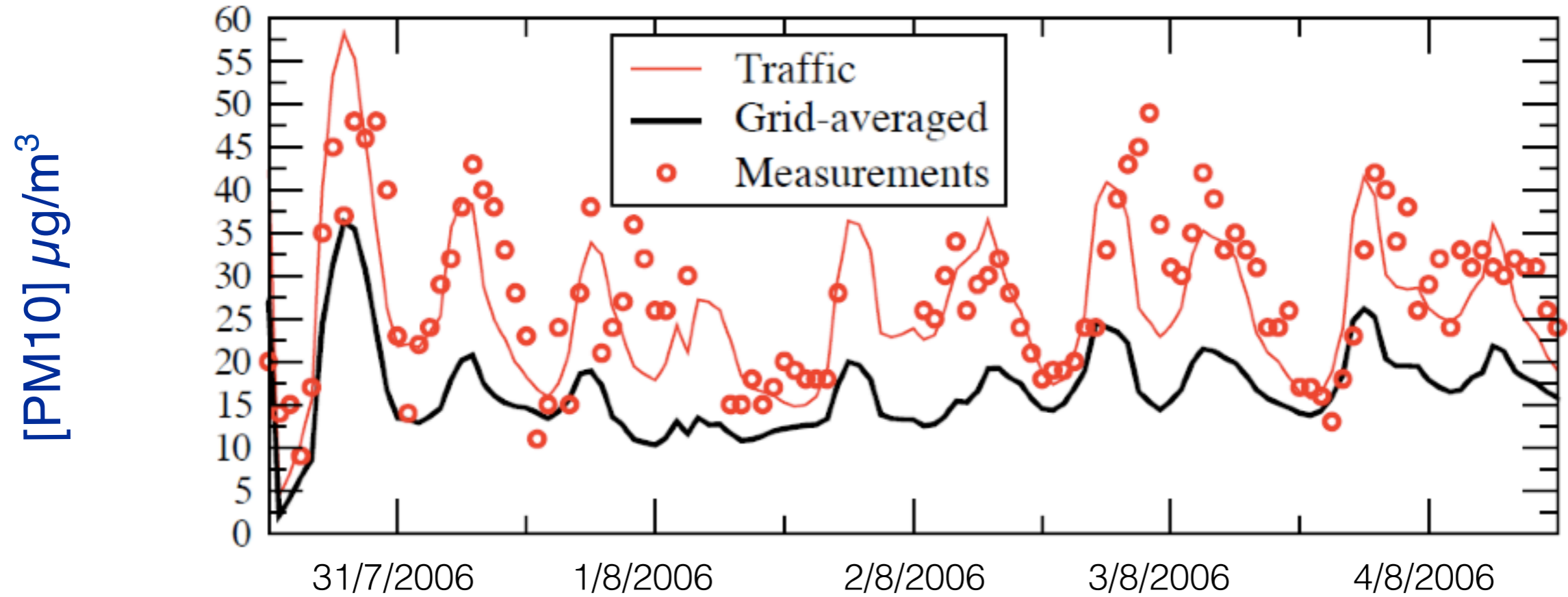
Concept du calcul sous-maille



$$\frac{\partial c_i}{\partial t} + \bar{U}_j \frac{\partial c_i}{\partial x_j} = - \frac{\partial(\overline{u'_j c'_i})}{\partial x_j} + \mathbf{E}_i + P(\bar{c}_i) + L(\bar{c}_i) \cdot \bar{c}_i - \frac{(c_i - \bar{c})}{T_{mix}}$$



Comparison du modèle avec des observations de surface



Perspective...

Toujours pas à l'échelle du quartier

Processus sous-maille mal ou pas représentés

- effets des bâtiments
- distinction entre type de rue
- resuspension de la poussière

- Modèles de dispersion à haute résolution, "Street-canyon", "Large eddy simulation"
- Couplage avec CHIMERE
- Collaboration Aria-Technologies, modèle AIRCITY



1) Modélisation de la pollution

- De l'échelle régionale à l'échelle locale
- Développement du modèle "sous-maille"

2) Modélisation de l'exposition

- Déplacements
- Qualité de l'air intérieure
- De la population aux expositions personnels

3) Impact sur la santé

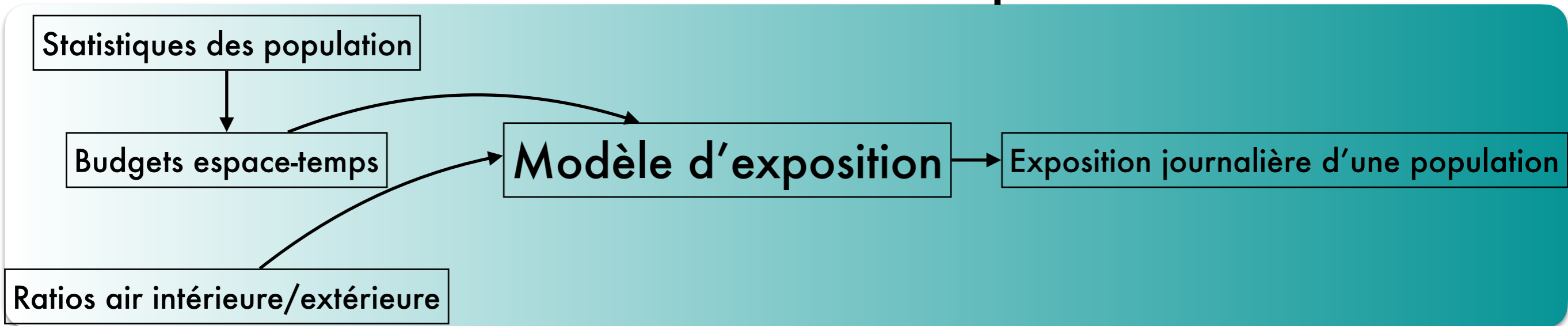
- Vulnérabilité des populations
- Effet des co-polluants

Un modèle d'exposition au cours de développement



- Pollution de proximité (rues, sites industriels, aéroports...)
- Déplacements des populations
- Moyens de transport utilisés
- Activités journalières
- Qualité de l'air intérieur

Un calcul stochastique

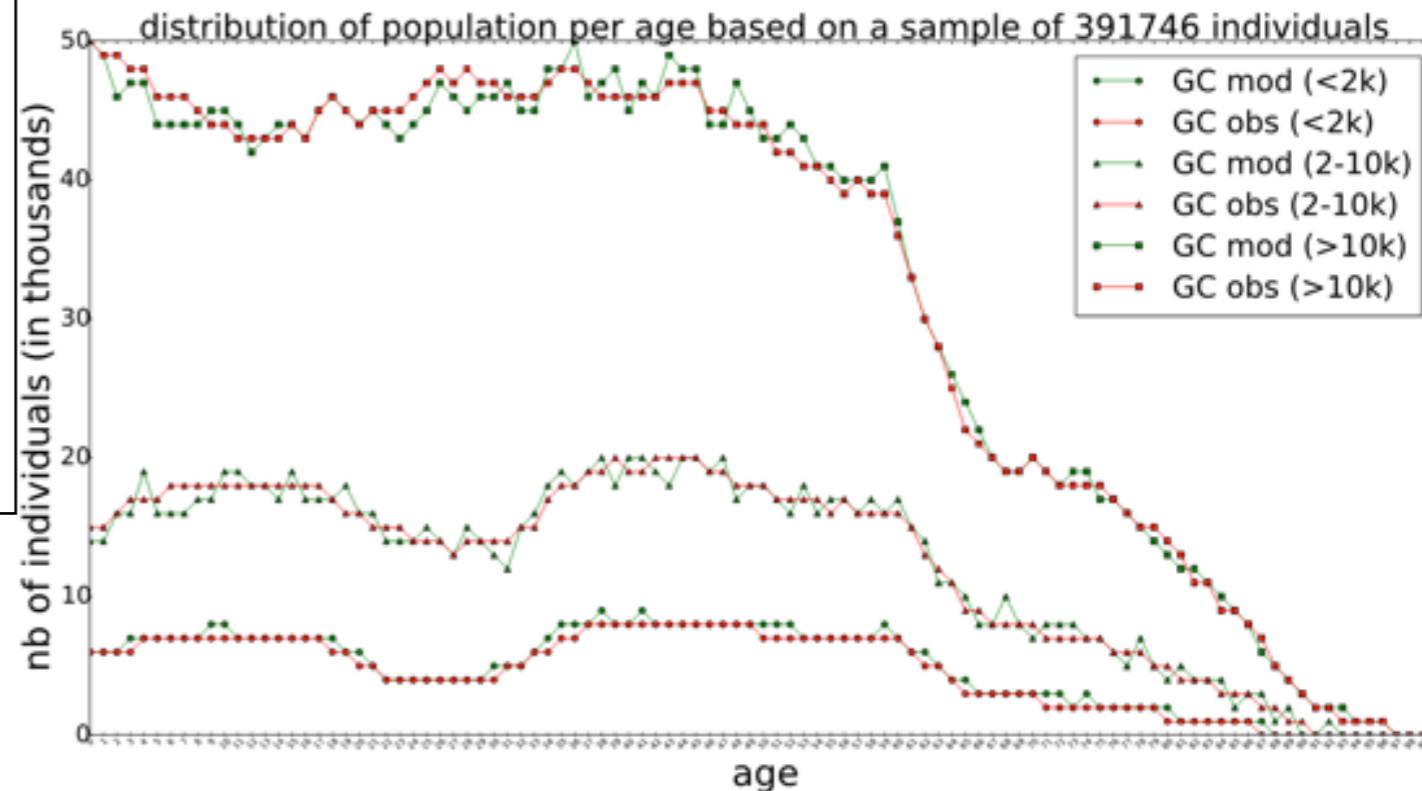


Echelle de la commune

Distributions a-priori (données INSEE, census...)

- Genre
- Age
- Activité professionnel
- Moyen de transport utilisé
- Age de construction des bâtiments (système de ventilation)

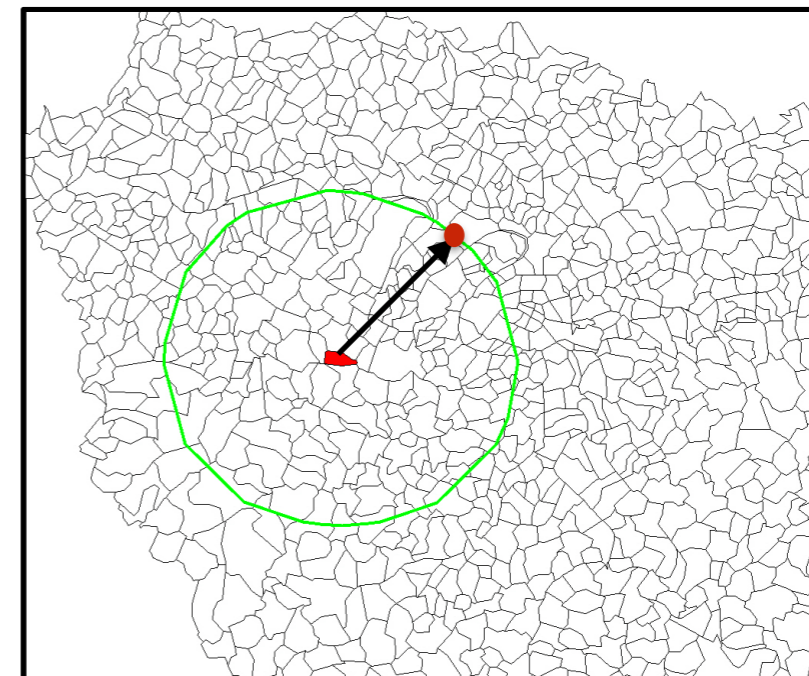
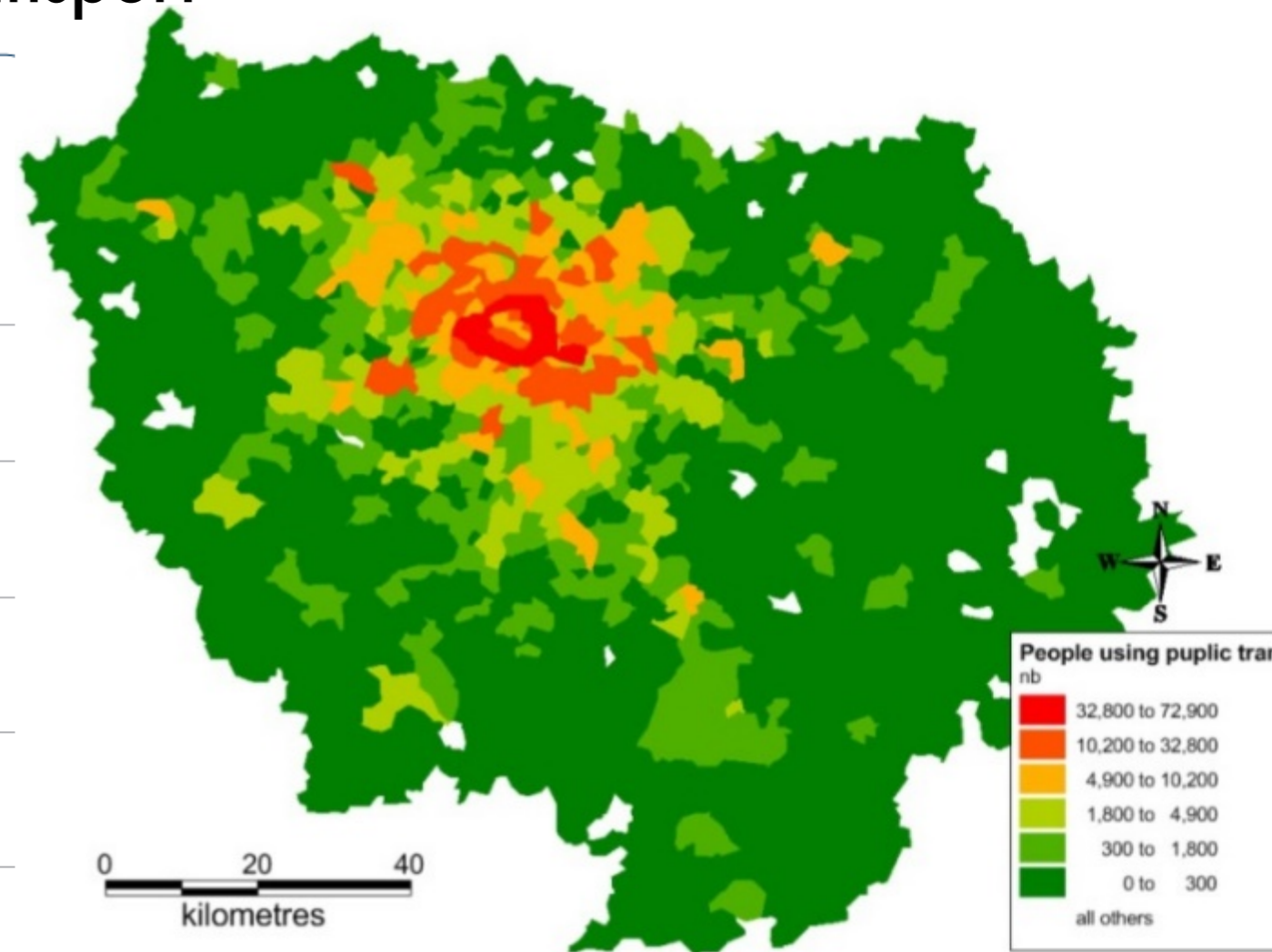
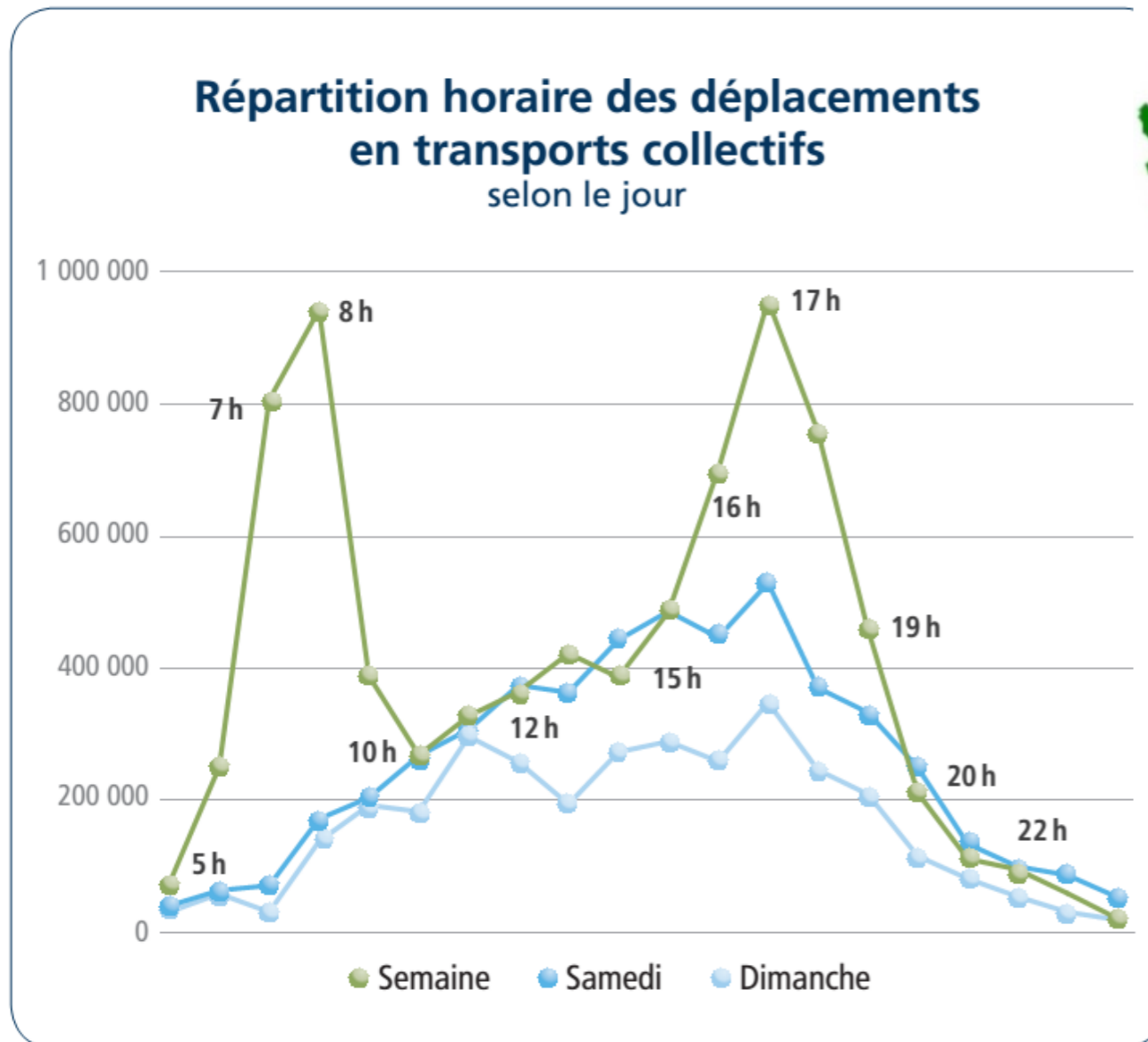
Distribution d'âge par commune 400 000 individus



Profils d'individus d'une population suffisamment large pour représenter la population de la région

Calcul des trajectoires

Données de l'enquête globale de transport



- Point d'origine
- Point de destination
- Moyen de transport
- Vitesse du déplacement

Un modèle de renouvellement de l'air à l'intérieure des bâtiments

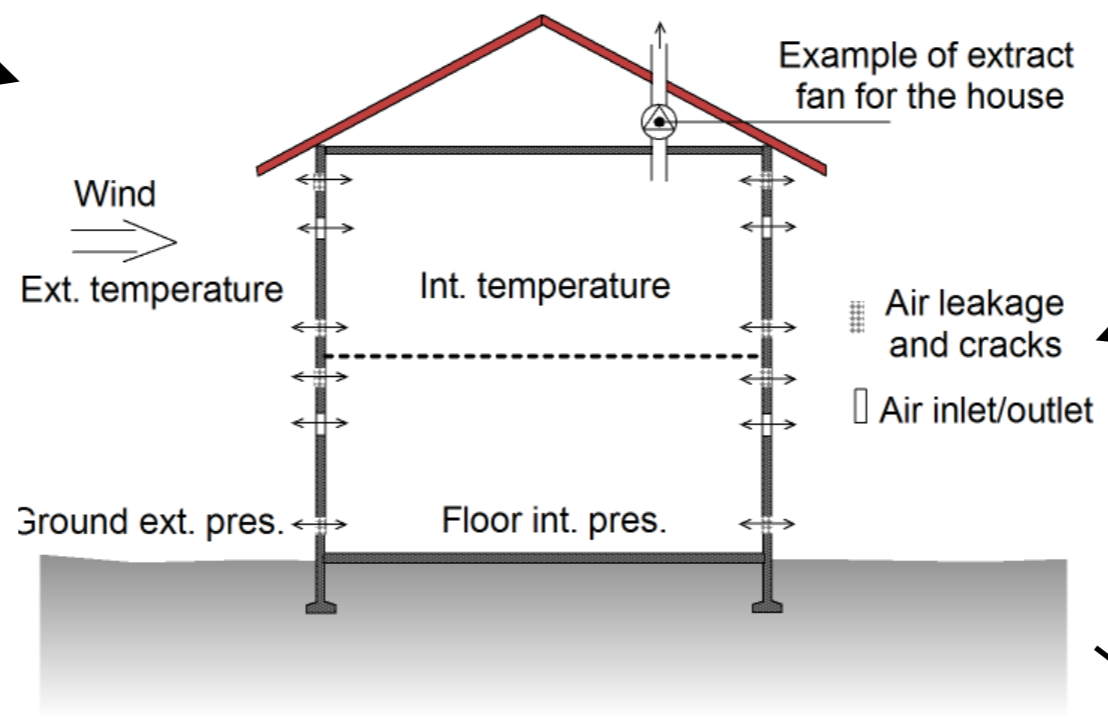
SIREN, CSTB Grenoble

$$\frac{dC_{[PM_x, in]}}{dt} = \underbrace{\sum_i (P_{[PM_x, i], Q_{in, i}}) C_{[PM_x, out]} - (Q_{out} + \eta Q_h) C_{[PM_x, in]}}_{\text{Advection}} + \frac{S_{PM_x}}{V} k_d C_{[PM_x, in]}$$

Sources intérieures
Depot

météo régionale

pollution régionale



Ratios air intérieure/extérieure

1) Modélisation de la pollution

- De l'échelle régionale à l'échelle locale
- Développement du modèle "sous-maille"

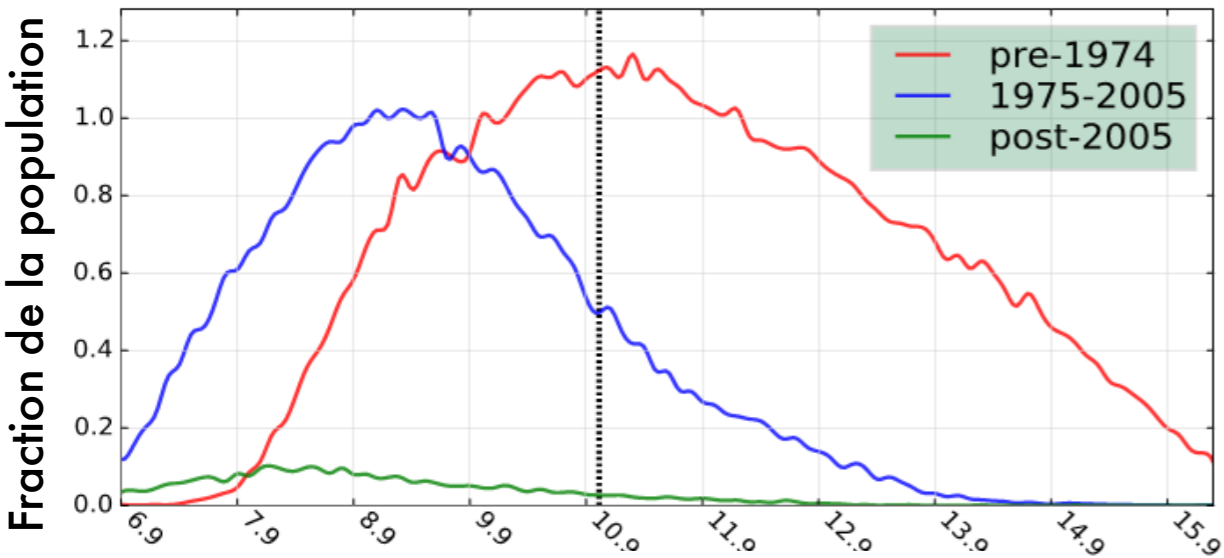
2) Modélisation de l'exposition

- Déplacements
- Qualité de l'air intérieure
- De la population aux expositions personnels

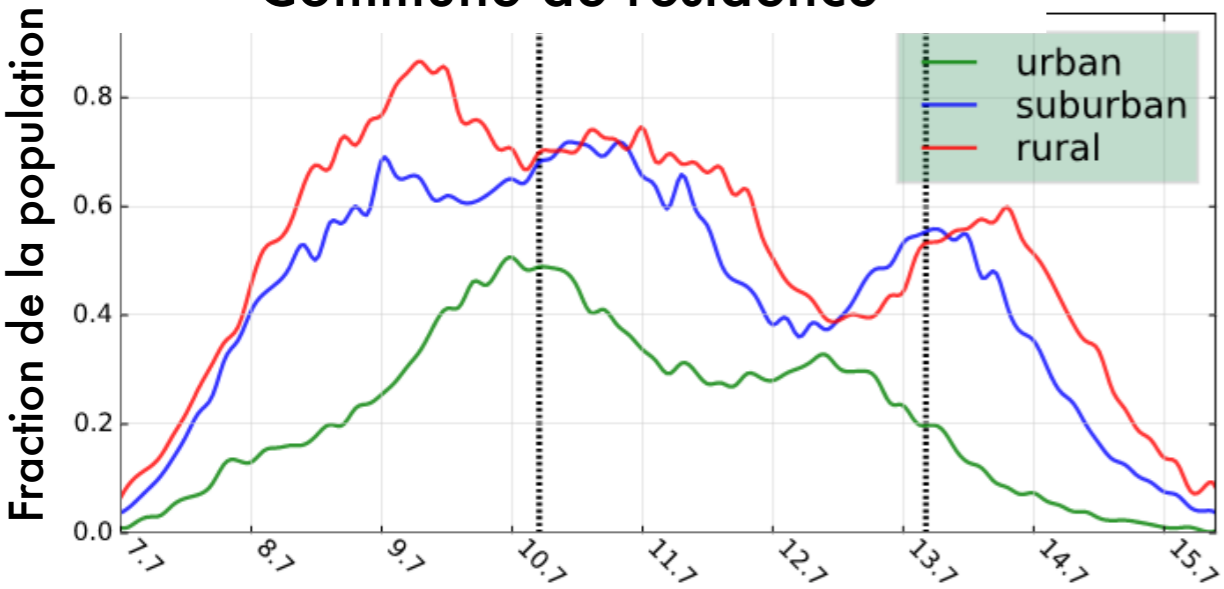
3) Impact sur la santé

- Vulnérabilité des populations
- Effet des co-polluants

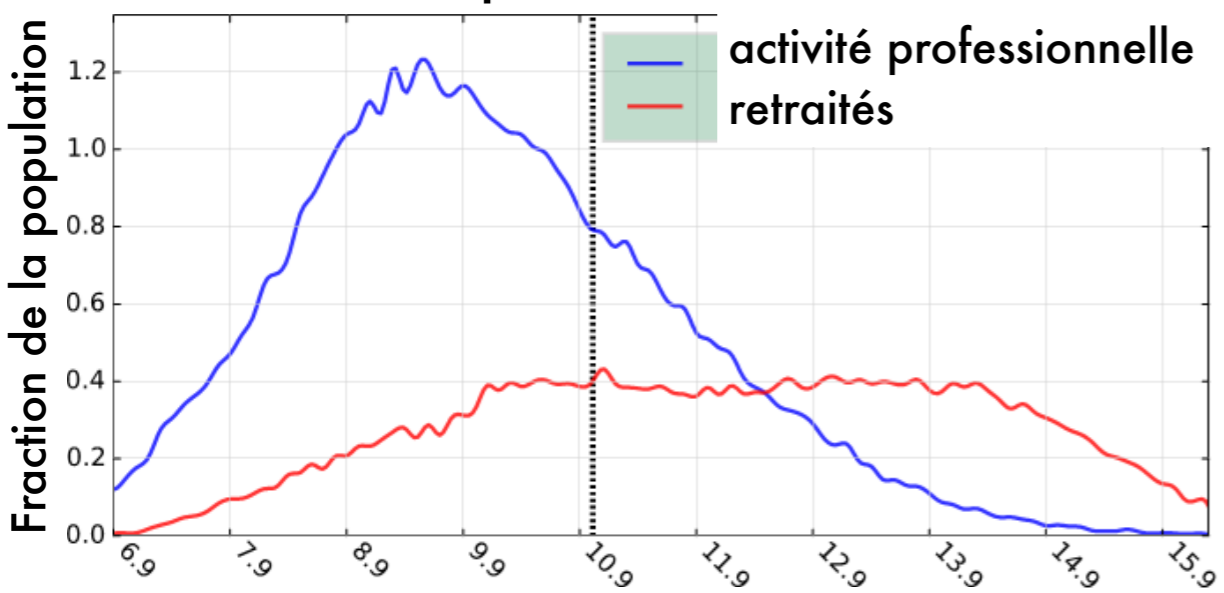
Année de construction du bâtiment



Commune de résidence

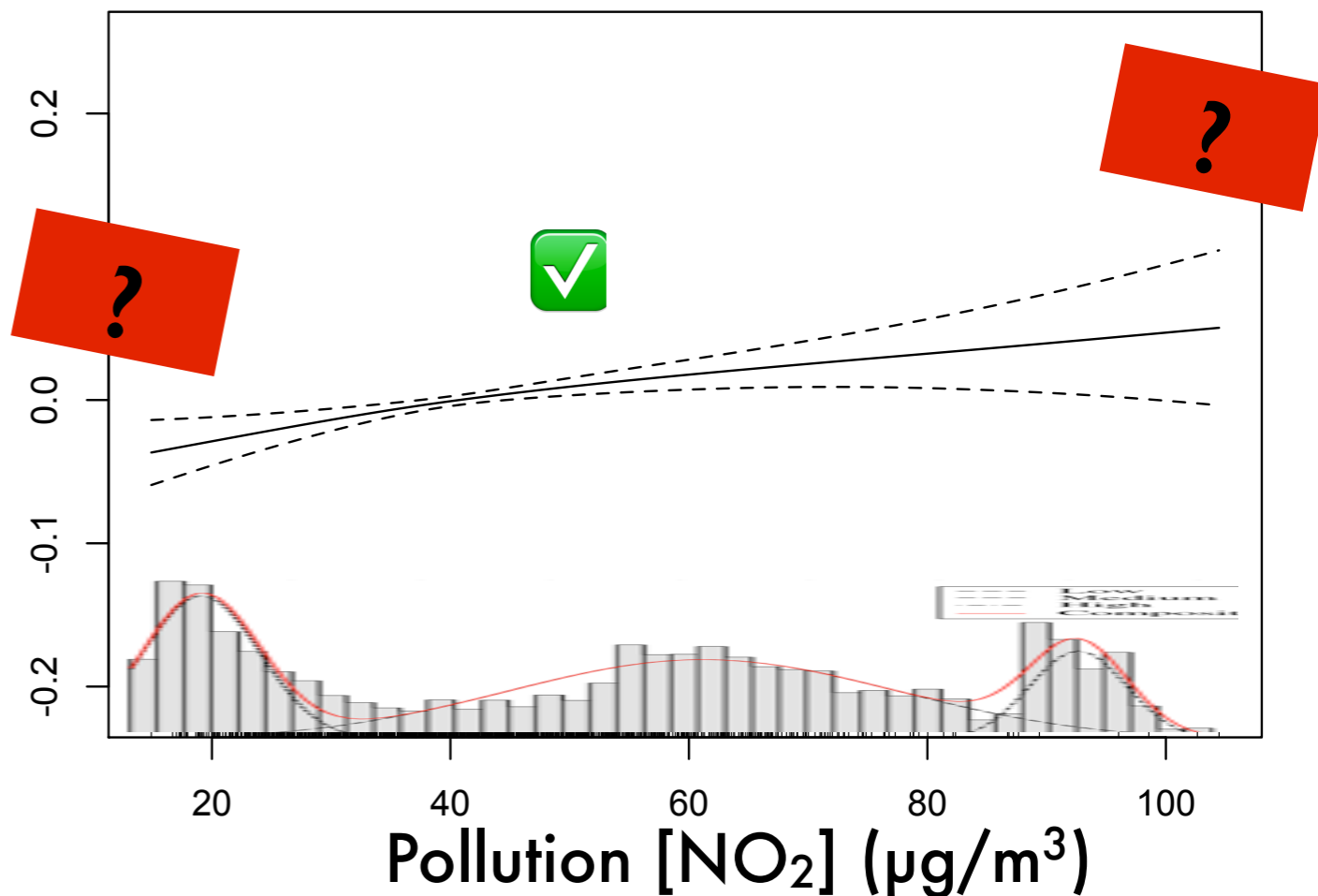


Activité professionnelle

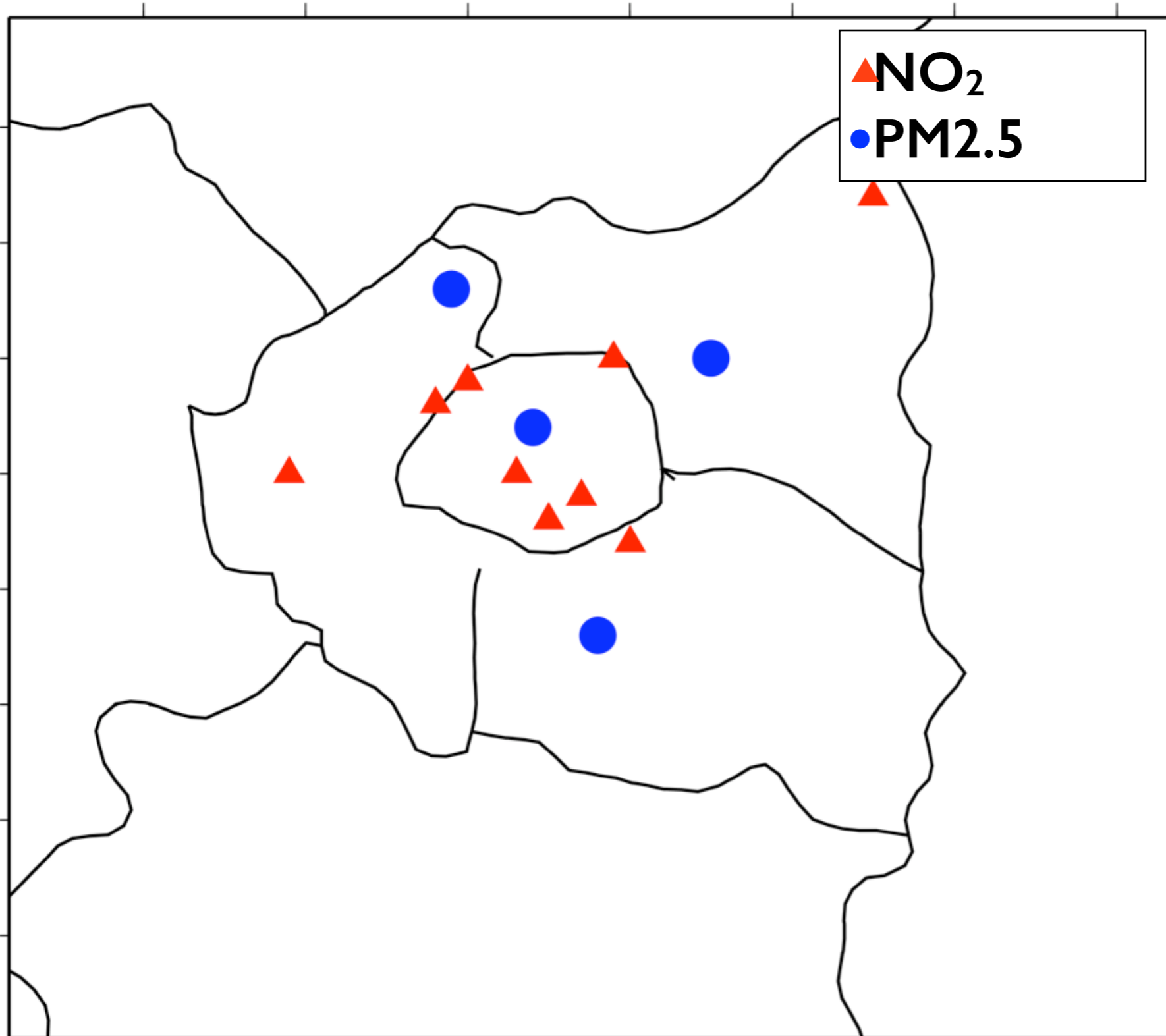


Et d'un point de vue épidémiologique...

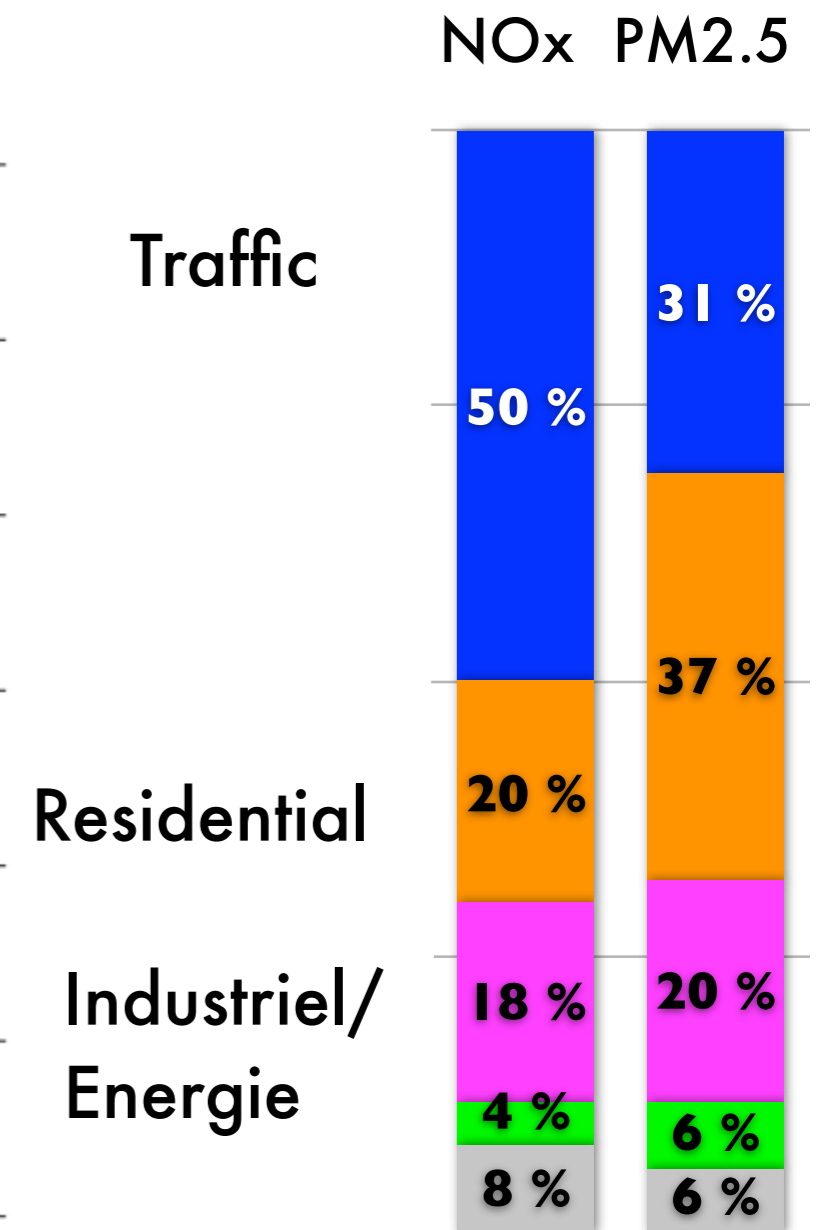
Excès de mortalité (%)



► NO₂ un proxy de la pollution urbaine due au trafic



Secteurs d'émission



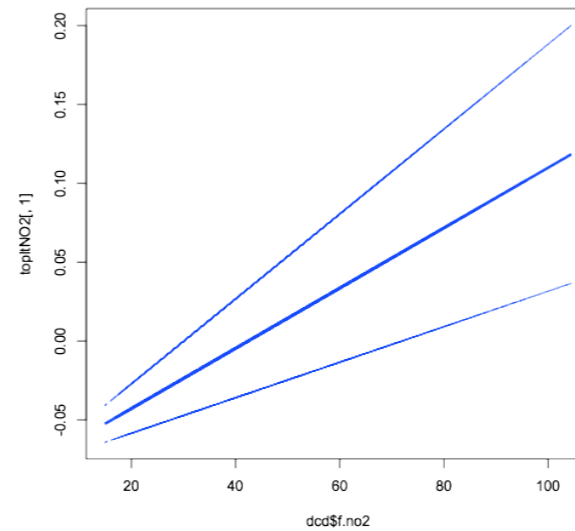
Forte corrélation entre NO₂ et PM_{2.5} ($r^2=0.75$)

Modèle co-polluants

$$\log \mu_t = \dots + \beta_{NO_2}[NO_2]_{t-1} + \beta_{O_3}[O_3]_{t-1} + \beta_{PM_{2.5}}[PM_{2.5}]_{t-1}$$

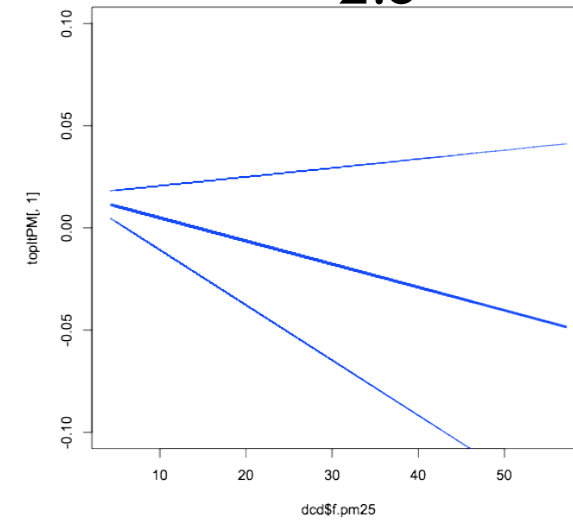
- Cas sans activités et qualité de l'air intérieure

NO_x



Association positive
pour NO_x

PM_{2.5}



Pas d'effet pour
PM_{2.5}

- Cas avec le modèle d'exposition

