

# Modélisation intégrée de la qualité de l'air urbain et scénarios socio-économiques

## *Contexte & mise en œuvre*

*Isabelle Coll<sup>1</sup>, Julie Prud'homme<sup>1,2</sup>, Vincent Viguié<sup>3</sup>, Nicolas Coulombel<sup>4</sup>*

*1 LABEX Futurs Urbains – Université Paris-Est*

*2 LISA (UMR CNRS 7583 – UPEC-UPD)*

*3 CIRED (UMR CNRS 8568)*

*4 LVMT (IFSTTAR)*





**1**  
Problématiques  
urbaines

**2**  
Projet intégré  
Postulats et  
principes

**3**  
Construction  
techniques /  
Illustrations



## Problématiques urbaines

L'essentiel du futur de la vie sociale se jouera dans les espaces urbanisés. Le développement urbain doit donc être soutenable. Est-ce déjà une réalité?

**Qualité de l'air et climat**

Les villes entre impact et rétroactions



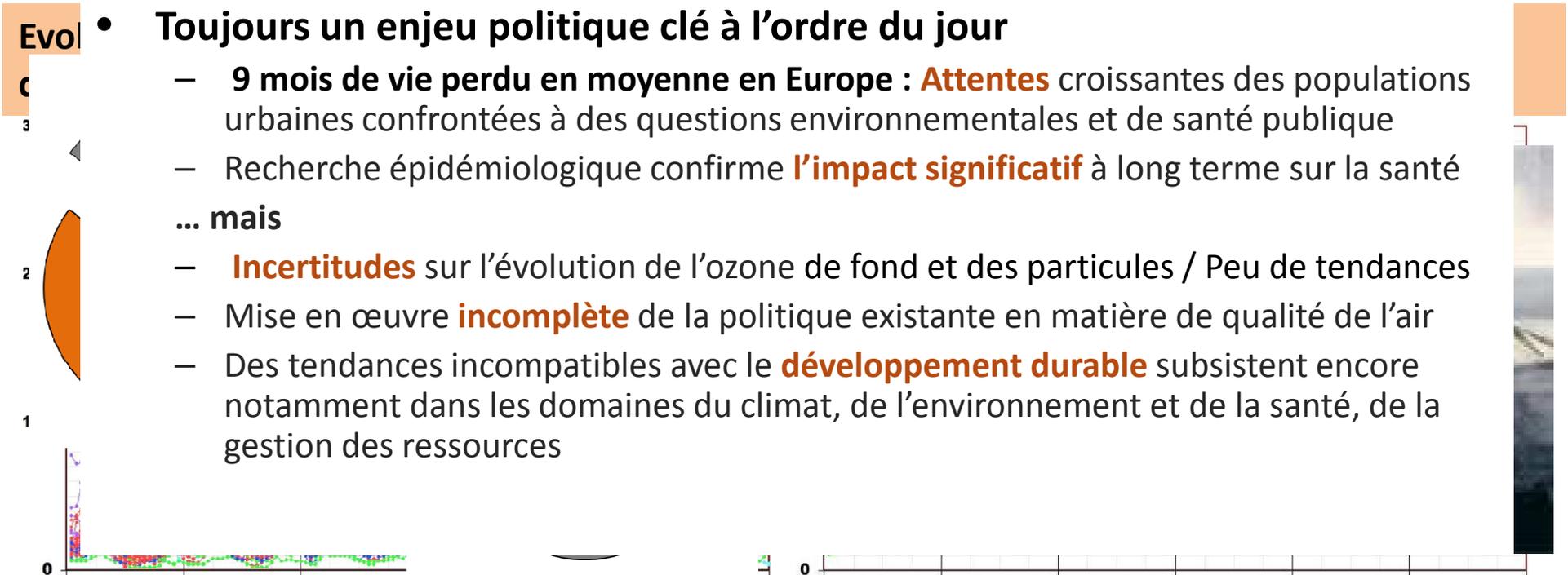
# Etat de la qualité de l'air urbain en France/Europe

- **Diminution régulière des niveaux de concentration des polluants urbains depuis les années 1970**
- **Un constat européen**
  - Les niveaux de pollution atmosphérique restent préoccupants dans de nombreuses régions d'Europe
  - Le **transport** est l'un des principaux contributeurs aux émissions de NOx (55%) et de particules fines (30%). Il génère en outre une très grande proximité aux émissions.

Evol

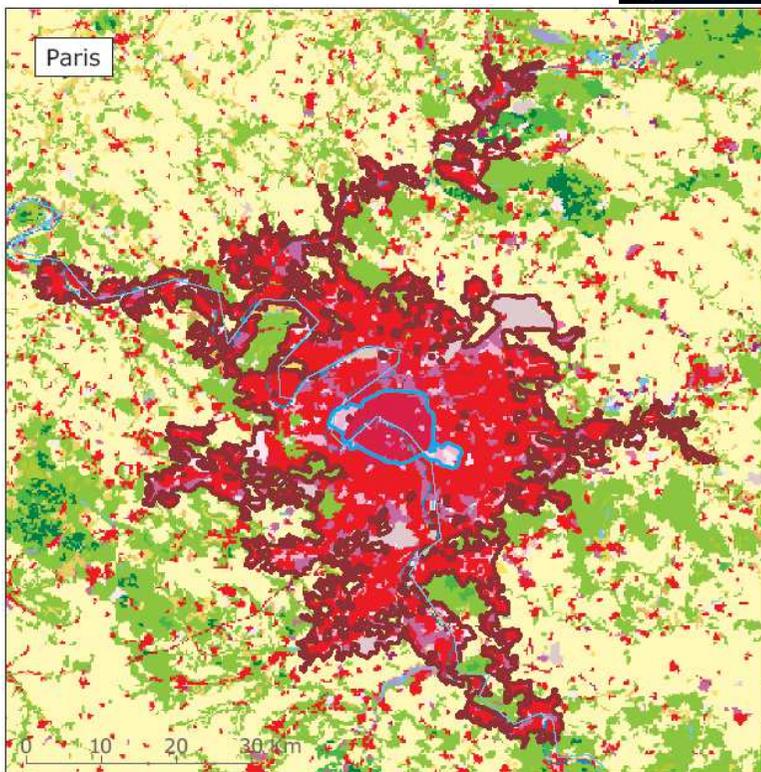
- **Toujours un enjeu politique clé à l'ordre du jour**

- **9 mois de vie perdu en moyenne en Europe** : **Attentes** croissantes des populations urbaines confrontées à des questions environnementales et de santé publique
- Recherche épidémiologique confirme **l'impact significatif** à long terme sur la santé
- ... mais
- **Incertitudes** sur l'évolution de l'ozone de fond et des particules / Peu de tendances
- Mise en œuvre **incomplète** de la politique existante en matière de qualité de l'air
- Des tendances incompatibles avec le **développement durable** subsistent encore notamment dans les domaines du climat, de l'environnement et de la santé, de la gestion des ressources



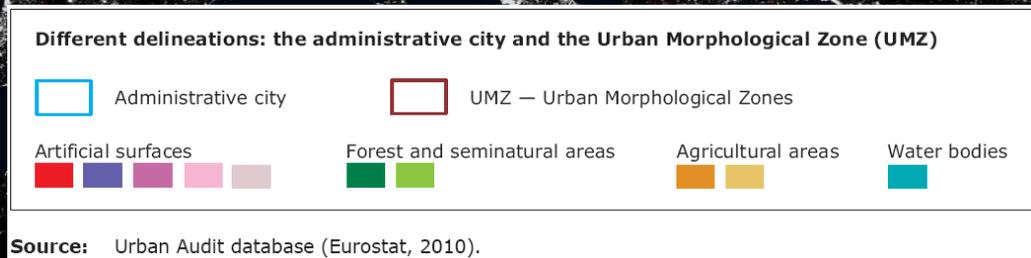
# L'urbanisation en Europe aujourd'hui

- Plus de 75% de la population européenne est urbaine – 80% en 2020
- Plus de 25% du territoire de l'UE est affecté par l'expansion urbaine
  - Menace l'éco-efficacité des villes
  - Croissance économique rapide, perception d'une mauvaise qualité de vie
  - Supports économiques



Zones urbaines fonctionnelles souvent au-delà des frontières administratives et morphologiques de la ville.

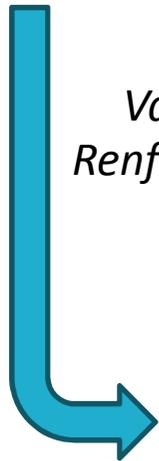
Nécessité de garantir la cohérence des politiques de tous niveaux pour une gouvernance efficace des villes .



# Villes et changement climatique : une relation bilatérale



Changement climatique : T, nuages, évènements extrêmes

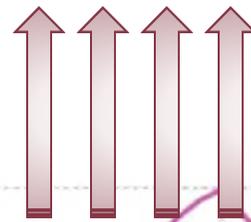


Renforcement de la photochimie

Problèmes sanitaires

Inondations  
Vagues de chaleur  
Renforcement de l'îlot de chaleur urbain

$COV + NOx \rightarrow O_3$   
 $PM\ 1aires \rightarrow 2daires$

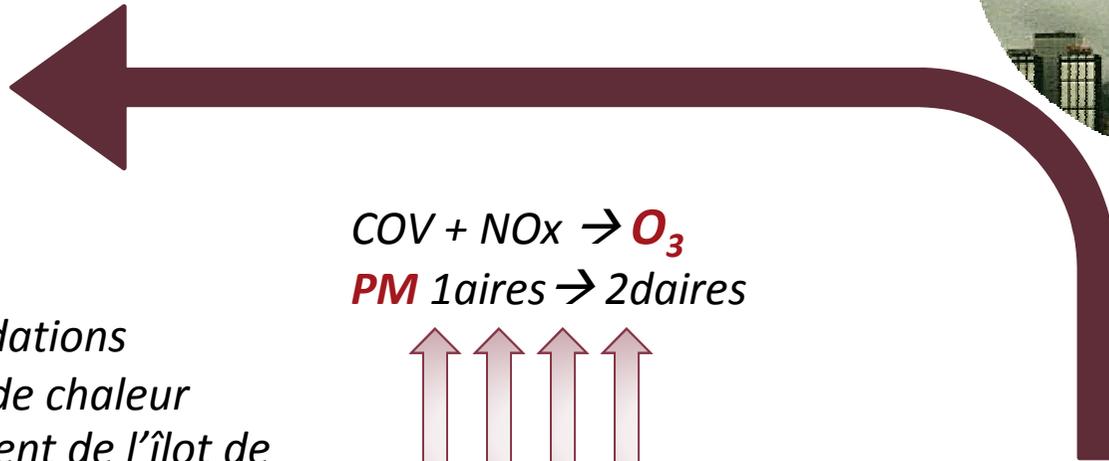


Consommation énergétique renforcée (climatisations)

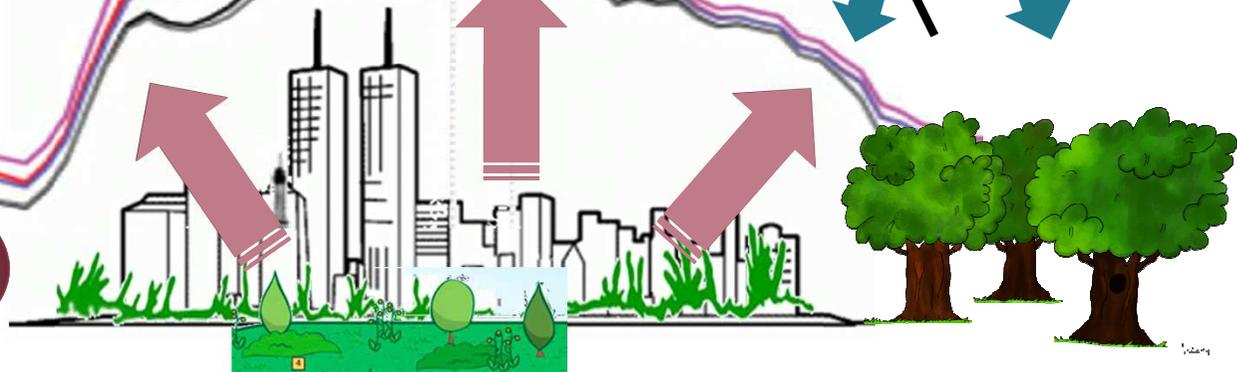
CO<sub>2</sub>



Modification météorologique locale: panaches, nuages & précipitations



T





**Les futurs espaces urbains** doivent faire face à des enjeux techniques et scientifiques, à des tensions sociales, à des risques majeurs. Ce constat appelle de nouvelles manières, intégrées, d'**imaginer** et de **construire** des projets urbains.

**Une tâche difficile**  
qui s'étend souvent au-delà des limites de l'échelle urbaine



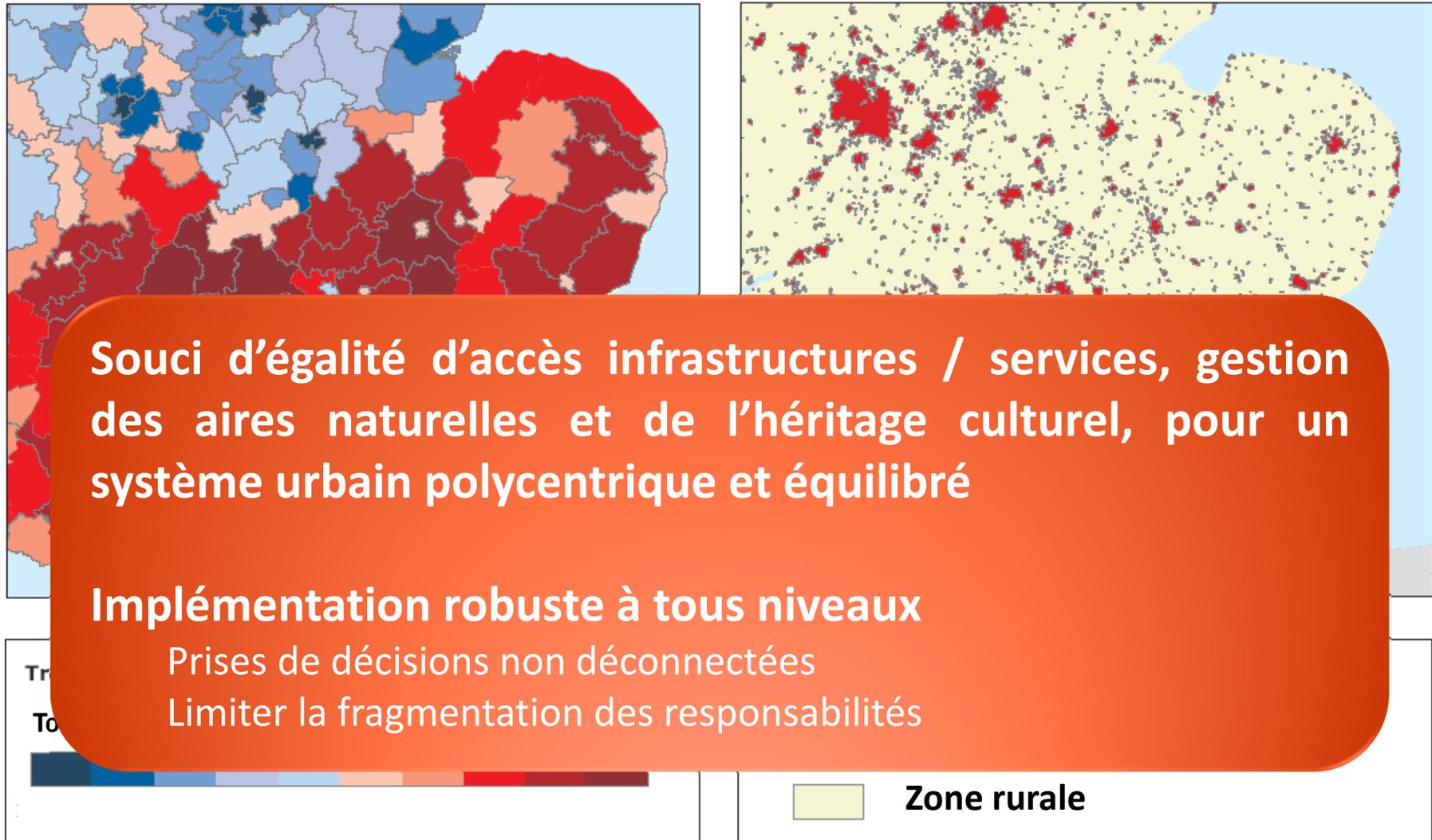
# Notre projet s'appuie sur les constats suivants

1. La planification urbaine, un levier d'action environnementale



# Planification urbaine et environnement

## Bilan GES lié au transport, par habitant au Royaume-Uni



# Parmi les engagements de la Commission Européenne pour 2014-2020



- **Renforcer le caractère durable des villes**
- **Passer à une économie verte inclusive à faibles émissions de carbone**
  - -20% émissions de GES
  - -20% consommation d'énergie primaire
  - 20% d'utilisation d'énergie renouvelable
- **Fournir un cadre stratégique pour la politique environnementale**
  - Assurant complémentarité et cohérence et une action à tous les niveaux de gouvernance
  - Politique basée sur une base de connaissances solide et disposant d'outils scientifiques adéquats
    - Mieux comprendre les impacts du changement climatique et les seuils environnementaux
    - Mieux comprendre les modes de production et de consommation durables notamment
    - Faire l'interface entre science et politique en environnement
  - Etablir des synergies entre qualité de l'air et climat

# Notre projet s'appuie sur les constats suivants

1. La planification urbaine, un levier d'action environnementale
2. Transports : une clé pour le développement durable



# Solutions pour une ville durable **Le transport**

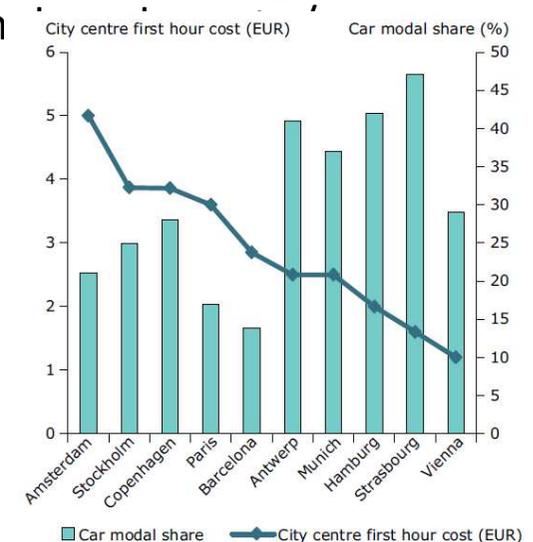
- **Le transport urbain :**

- un rôle socio-économique clé, un impact environnemental avéré (NOx, PM, CO2) et pas de tendance forte à la baisse des émissions / concentrations de proximité
- La congestion accroît la consommation de carburant et les disparités avec les normes d'émission constructeur
- Engagements UE pour des transports plus durables

- **Les solutions pour un transport routier urbain durable nécessitent**

- de meilleures infrastructures et une planification pour aider à **éviter** les trajets inutiles et le recours à l'utilisation des véhicules particuliers et pour un **report** modal
- des politiques d'aménagement et de taxation, la promotion technologies plus propres pour **réduire** les émissions

*Impact attendu de la forme / structure de la ville sur la forme et l'usage du réseau routier*



# Notre projet s'appuie sur les constats suivants

1. La planification urbaine, un levier d'action environnementale
2. Transports : une clé pour le développement durable
3. La ville compacte : le pour et le contre



# La ville compacte, pour ou contre ?

*La ville compacte basée sur des transports en commun efficaces, favorisant marche et cyclisme et associée à des espaces verts publics de qualité peut servir de modèle de développement durable (EEA).*

- Le « pour »

Lutte contre l'étalement urbain

Réduction des distances domicile-travail

Diminution de la demande de transport individuel, report modal sur la marche et le vélo

Moins de consommation énergétique pour le chauffage domestique

Organisation des réseaux (chauffage, services, déchets)

- Le « contre »

Confinement des espaces urbains piétons, rues canyon

Augmentation de la congestion du trafic (quartiers populaires et commerciaux)

Réduction des espaces verts (effet thermique, absorption polluants)

Renforcement des inégalités d'accès et des stress environnementaux (bruit)

Rétroaction négative : hausse des prix des terres et étalement urbain

**Réduction de la consommation d'énergie, des émissions de GES, économies d'échelle**

**Renforcement potentiel de l'exposition à une qualité de l'air dégradée**

# Notre projet s'appuie sur les constats suivants

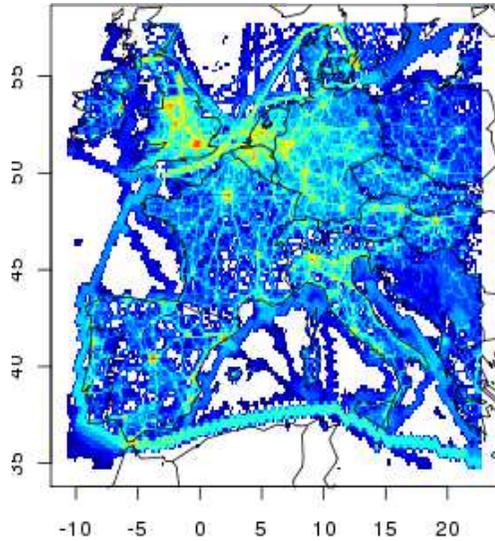
1. La planification urbaine, un levier d'action environnementale
2. Transports : une clé pour le développement durable
3. La ville compacte : le pour et le contre
4. Les scénarios d'émission classiques ne peuvent pas aborder ces questions



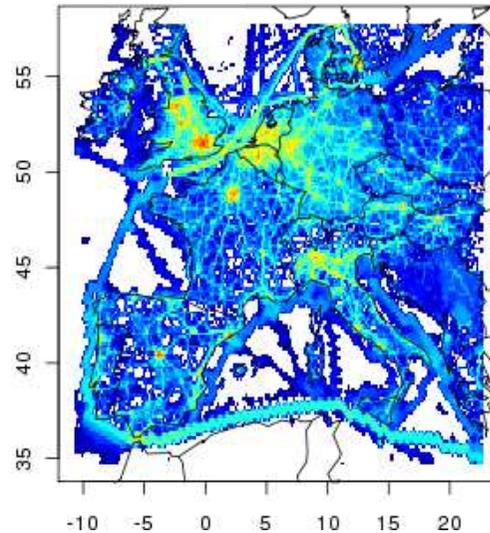
Les scénarios d'émission classiques ne peuvent pas aborder ces questions



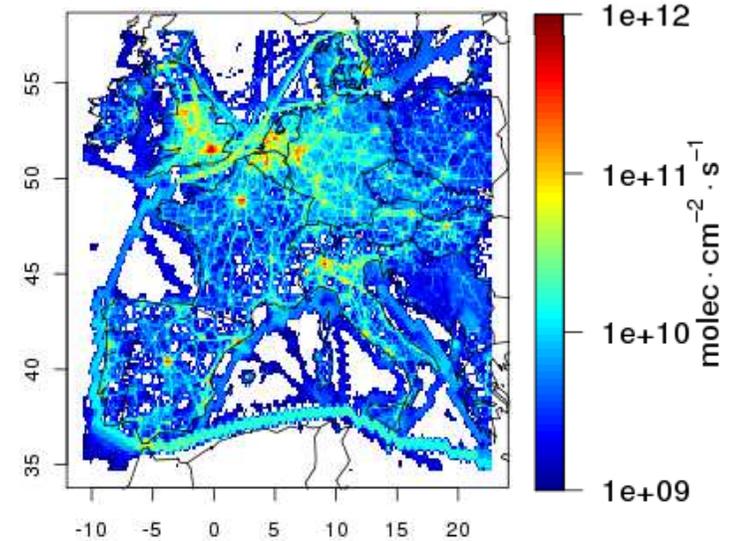
Original - REF



City sprawl - SUBURBS



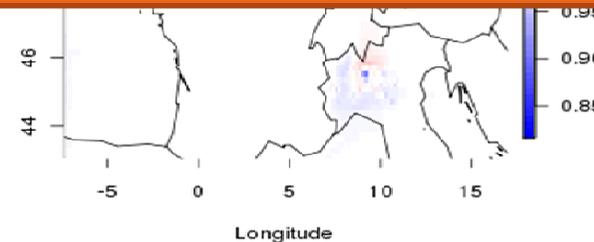
Dens° of urban patterns - MPOL



MPOL/SUBURBS

Ozo

Besoin d'une approche multidisciplinaire et intégrée

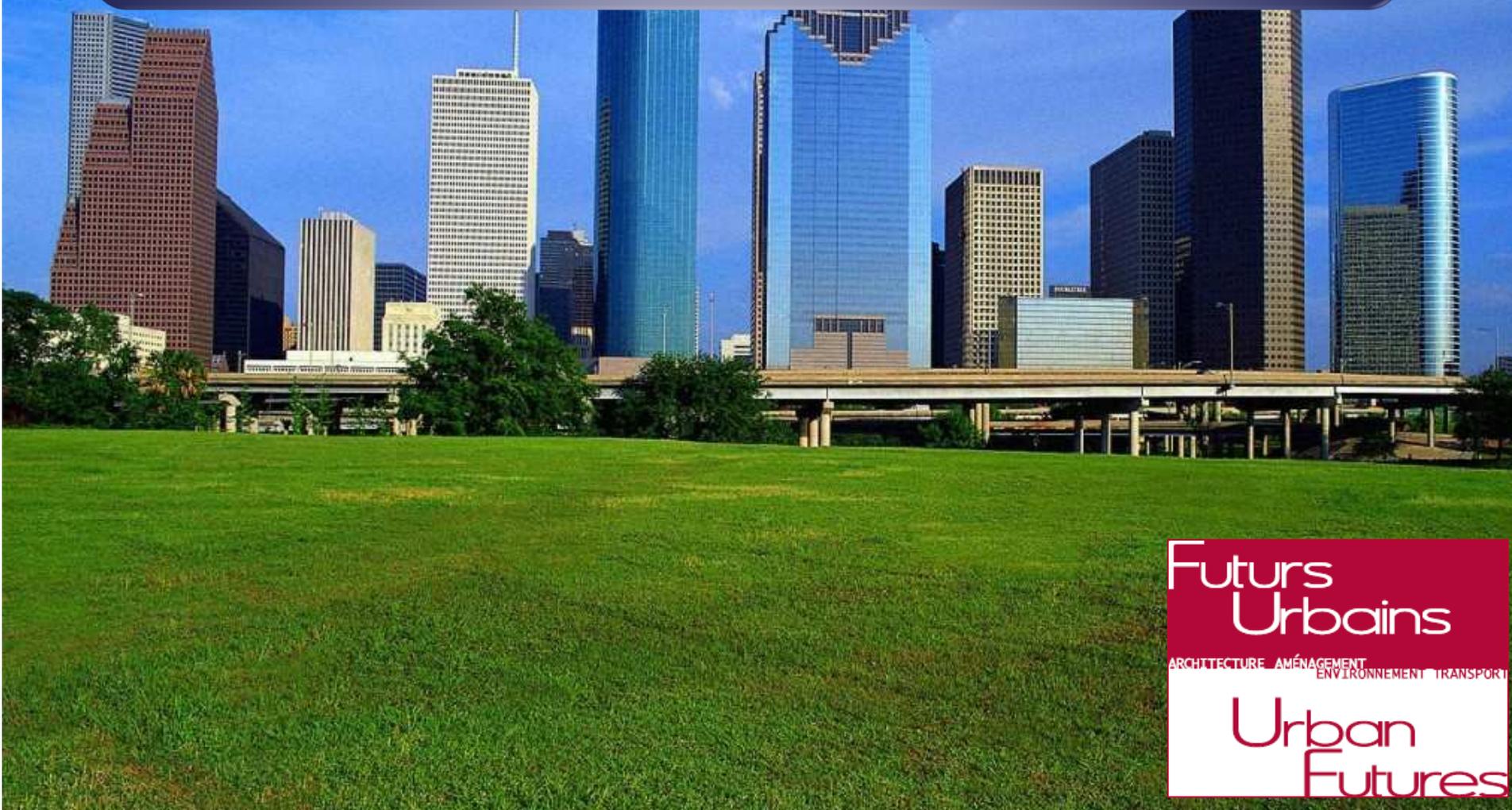


# Domaines d'action *identification des principaux verrous*

Trop fort cloisonnement en secteurs, disciplines

Difficile transfert des connaissances vers les utilisateurs / acteurs / usagers

Déficit en observation, évaluation, indicateurs



# Domaines d'action *identification des principaux verrous*

## **Mieux modéliser les interactions activités urbaines -environnement**

*Paramètres physiques, choix d'urbanisation, transport...*

*Politiques environnementales (formes urb, économie, énergétique ), résilience urbaine*

## **Métropoles mondialisées: nouvelles interactions**

*Comparer les dynamiques économiques, innovations techniques , mutations sociales*

*Interactions d'échelle (transport et métropoles, aménagement et architecture...)*

## **Analyser et repenser les vulnérabilités via la mobilité**

*Aménagement, transports, usages et politiques publiques*

*Modes de gouvernance de la ville (face à la vulnérabilité, au défi environnemental)*

## **Etudier la production matérielle de la ville**

*Infrastructures et métabolisme urbain*

*Construction, réhabilitation*





## **Projet :** Développement, enjeux, verrous & illustrations

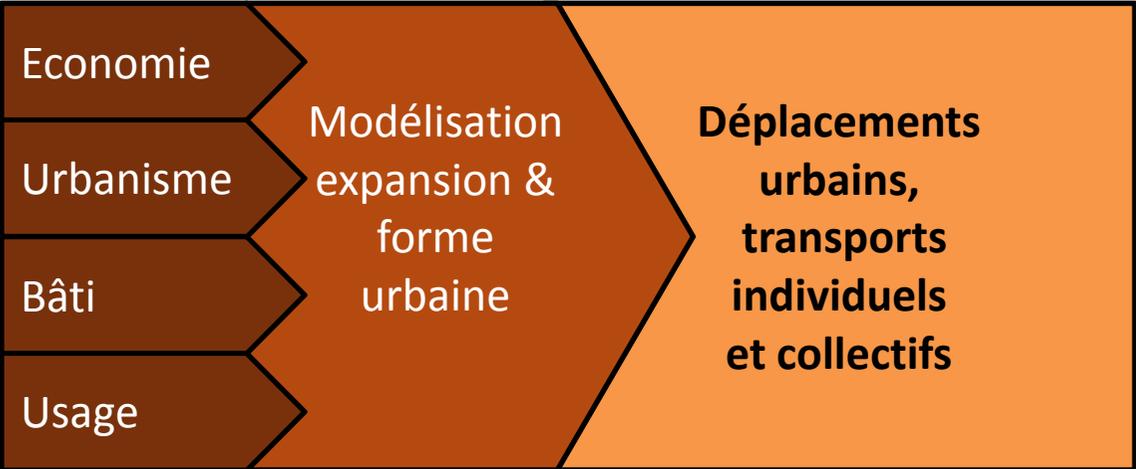
**Chaîne de modélisation urbaine intégrée**  
Croiser aménagement, économie, transport et environnement



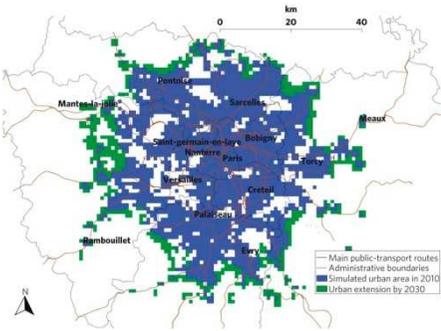
# Objectifs et approche du projet

1. Volonté d'intégrer les contraintes socio-économiques des les scénarios environnementaux : **impacts de la forme de la croissance urbaine sur la qualité de l'air**
2. Construction d'une chaîne de modélisation intégrée à partir de modèles **validés et robustes**
3. Centré sur la production d'une **matrice de flux de déplacements** (conséquence de la forme urbaine / structurante pour la forme urbaine / génératrice d'impacts)

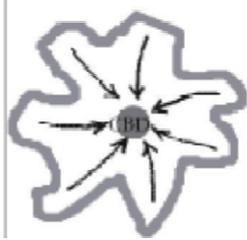




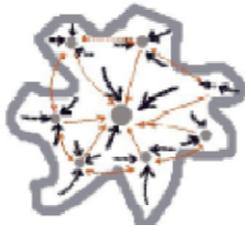
**NEDUM 2D : Modèle socio-économique / interaction transport–usage des sols / Réarrangement espace urbain / Coût transport et logement**



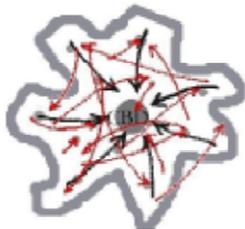
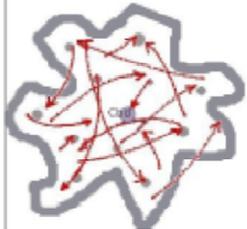
**Structure de la ville & fabrique urbaine**



Modèle monocentrique



Modèle polycentrique



**Conséquences urbaines des politiques**  
 → Localisation centres d'emploi et zones résidentielles  
 → Nouvelle utilisation des sols



# NEDUM (CIRED)

- Simuler la croissance urbaine selon des principes d'économie urbaine classiques
- 3 mécanismes:
  1. **Arbitrage** des ménages (loyer, transports)
    - Les temps et coûts de transports sont réduits avec la proximité au centre
    - Les logements sont plus grands et moins chers en périphérie
  2. **Optimisation** de la densité de logements entre loyer et coût de construction (position de l'investisseur immobilier)
  3. Des **temporalités** différentes entre l'évolution du loyer, de la densité de population,...

## Des hypothèses simplifiées:

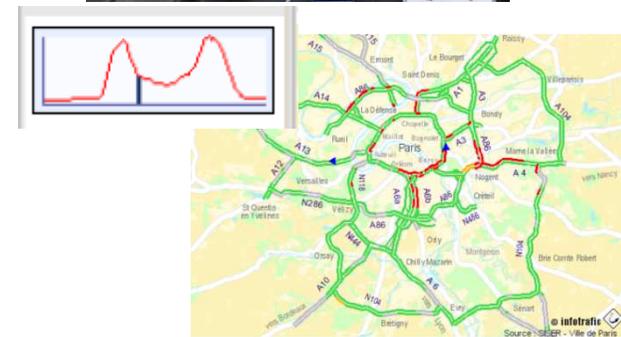
- Tous les ménages ont les mêmes revenus
- Un seul déplacement par ménage par jour



## Matrice de déplacements routiers urbains

### MODUS / GREEN

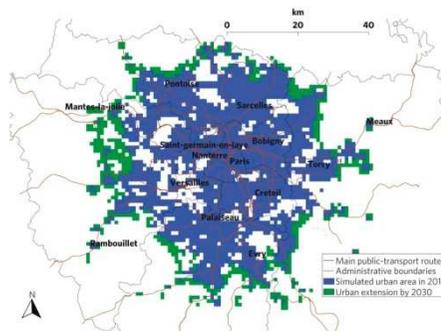
Modèles d'allocation et de simulation de trafic / Calcul des émissions de polluants



**NEDUM 2D** : Modèle socio-économique / interaction transport–usage des sols / Réarrangement espace urbain / Coût transport et logement



## Structure de la ville & fabrique urbaine



Conséquences urbaines des politiques

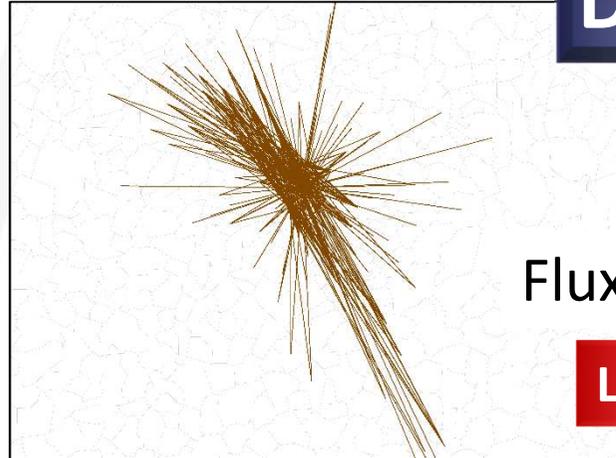
→ Localisation centres d'emploi et zones résidentielles

→ Nouvelle utilisation des sols



# TRAFIC ROUTIER & EMISSIONS

Déplacements



Flux origine/destination

Localisation des OD

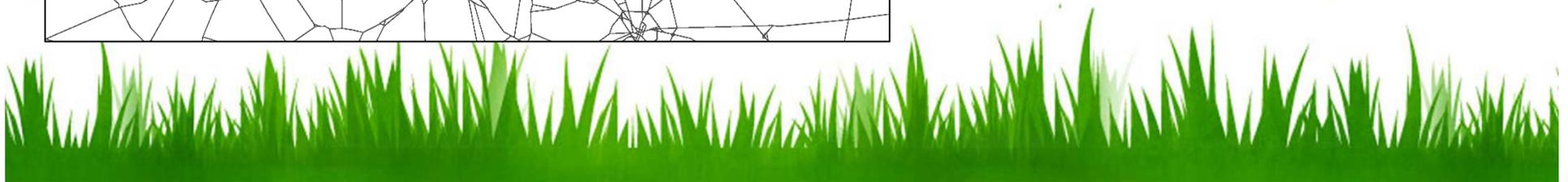
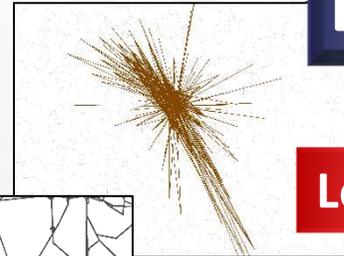
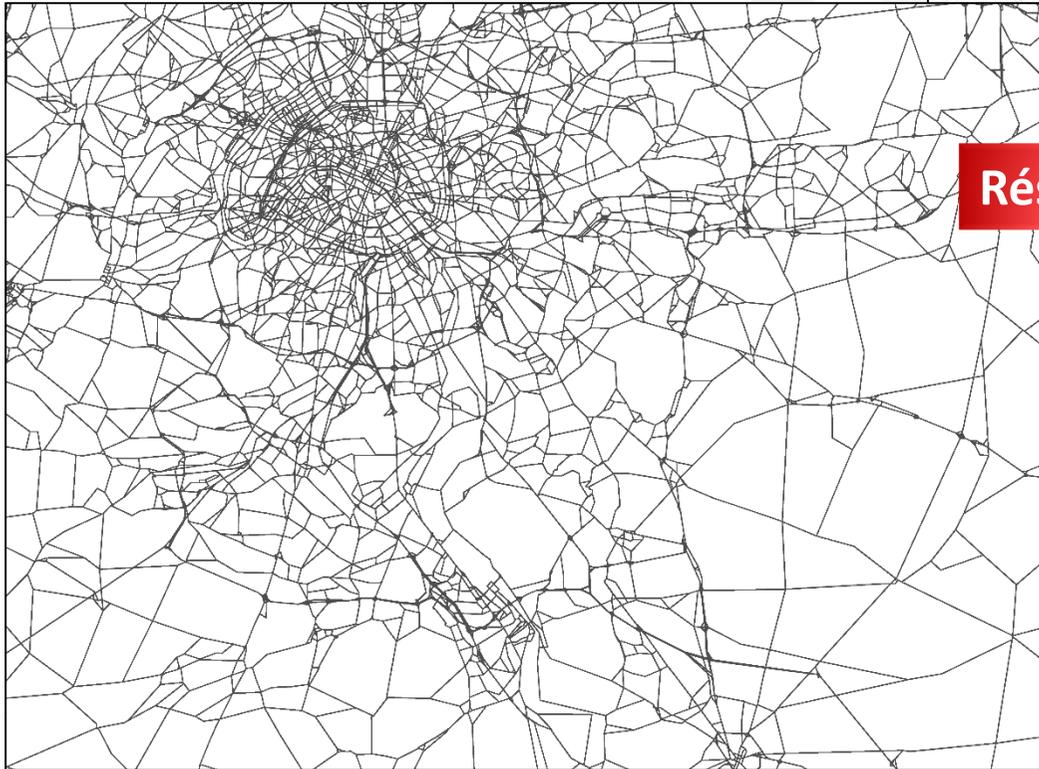


# TRAFIC ROUTIER & EMISSIONS

Déplacements

Localisation des OD

Réseau routier



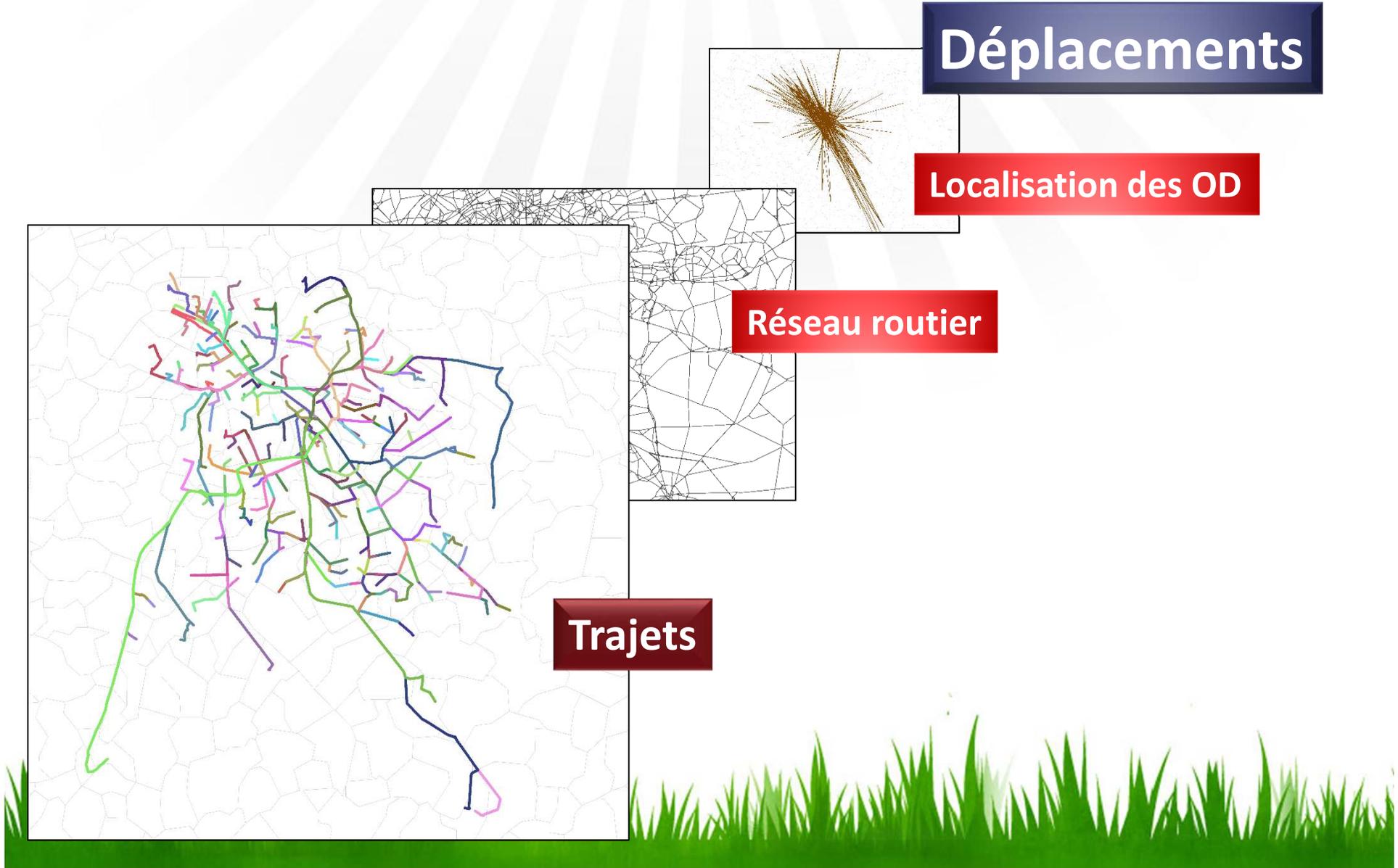
# TRAFIC ROUTIER & EMISSIONS

Déplacements

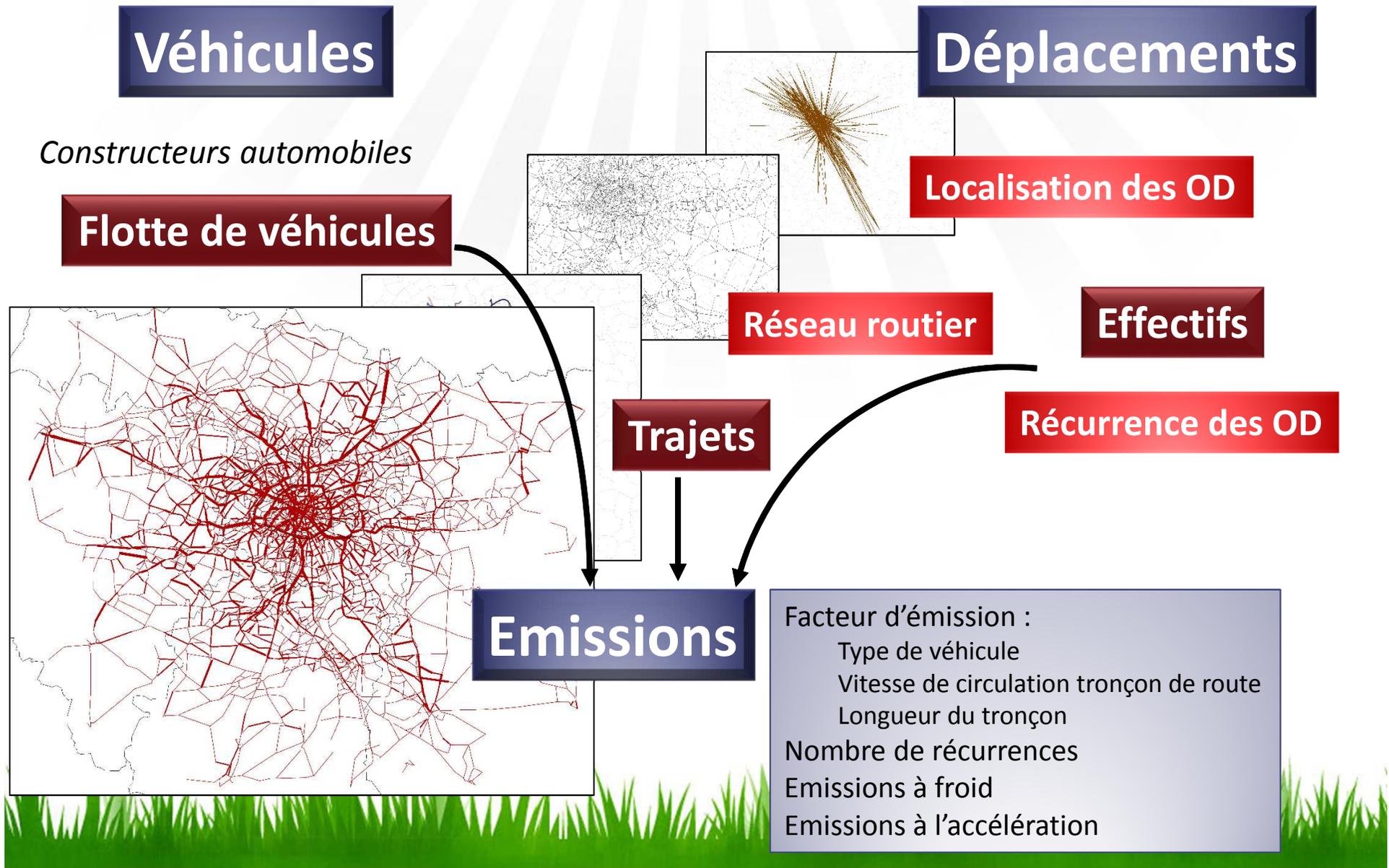
Localisation des OD

Réseau routier

Trajets



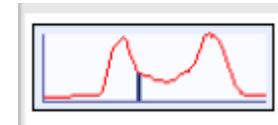
# TRAFIC ROUTIER & EMISSIONS



## Matrice de déplacements routiers urbains

### MODUS / GREEN

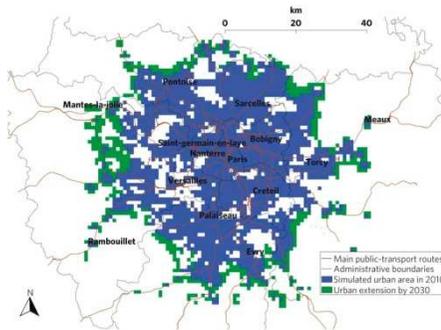
Modèles d'allocation et de simulation de trafic / Calcul des émissions de polluants



NEDUM 2D : Modèle socio-économique / interaction transport–usage des sols / Réarrangement espace urbain / Coût transport et logement



## Structure de la ville & fabrique urbaine



## Diagnostic qualité de l'air

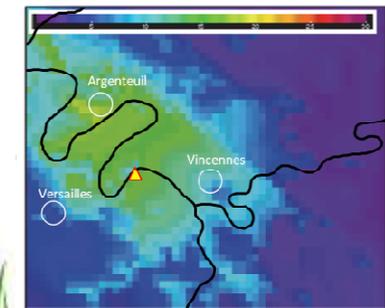
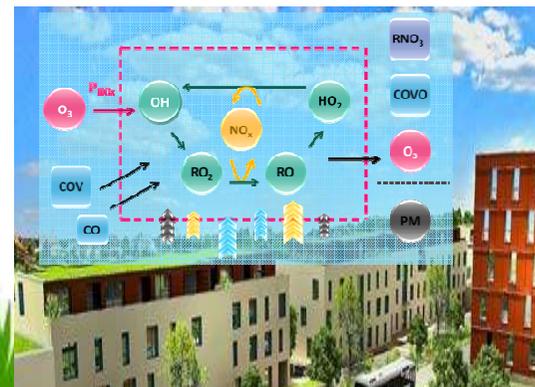
CHIMERE : évolution physico-chimique des polluants / champs de concentration

*Chimere*

Conséquences urbaines des politiques

→ Localisation centres d'emploi et zones résidentielles

→ Nouvelle utilisation des sols



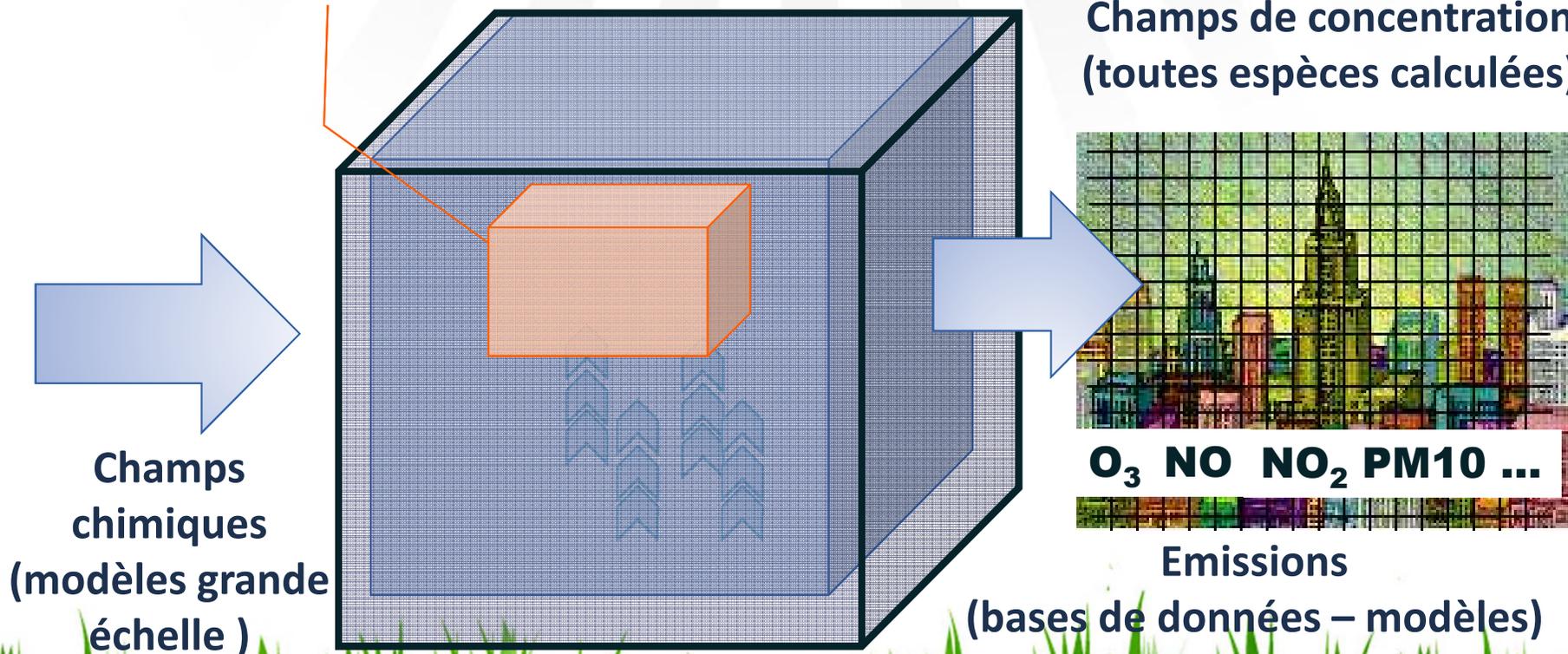
# CHIMERE : Modèle de Chimie-Transport

Modules internes de calcul  
Schéma chimique/ Themodyn.  
Schéma de transport  
Solveur

*Chimere*

Paramètres  
météorologiques  
(modèle)

Champs de concentration  
(toutes espèces calculées)



Champs  
chimiques  
(modèles grande  
échelle )

**O<sub>3</sub> NO NO<sub>2</sub> PM10 ...**

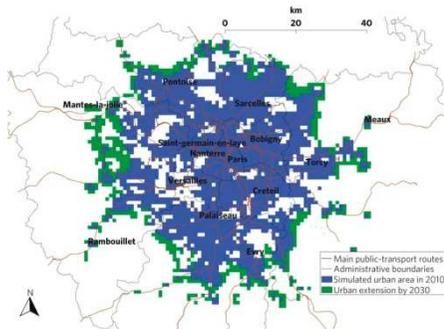
Emissions  
(bases de données – modèles)

Développement de scénarios énergétiques VITE!

Contrainte pour  
**NEDUM**  
 & suite de la chaîne



**NEDUM 2D** : Modèle socio-économique / interaction transport–usage des sols / Réarrangement espace urbain / Coût transport et logement



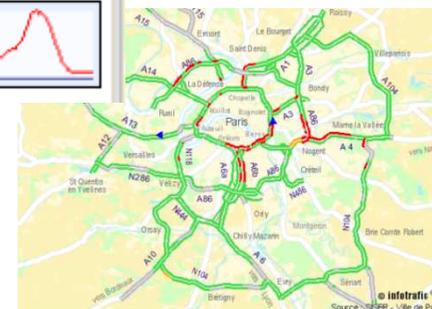
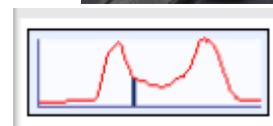
Structure de la ville & fabrique urbaine



**MODUS / GREEN**

Modèles d'allocation et de simulation de trafic / Calcul des émissions de polluants

Matrice de déplacements routiers urbains



Diagnostic qualité de l'air

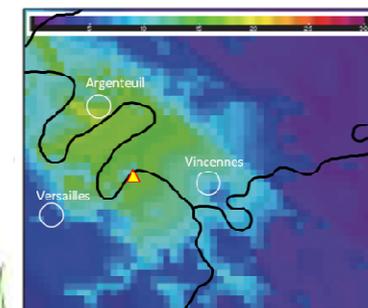
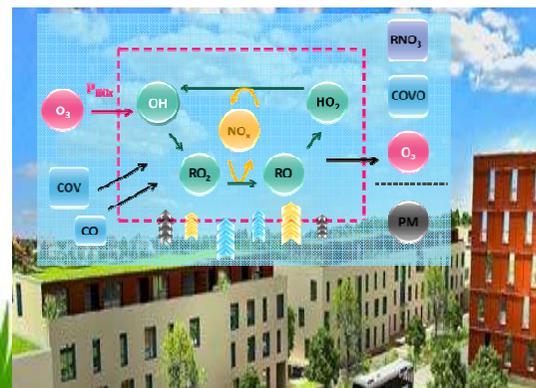
**CHIMERE** : évolution physico-chimique des polluants / champs de concentration

*Chimere*

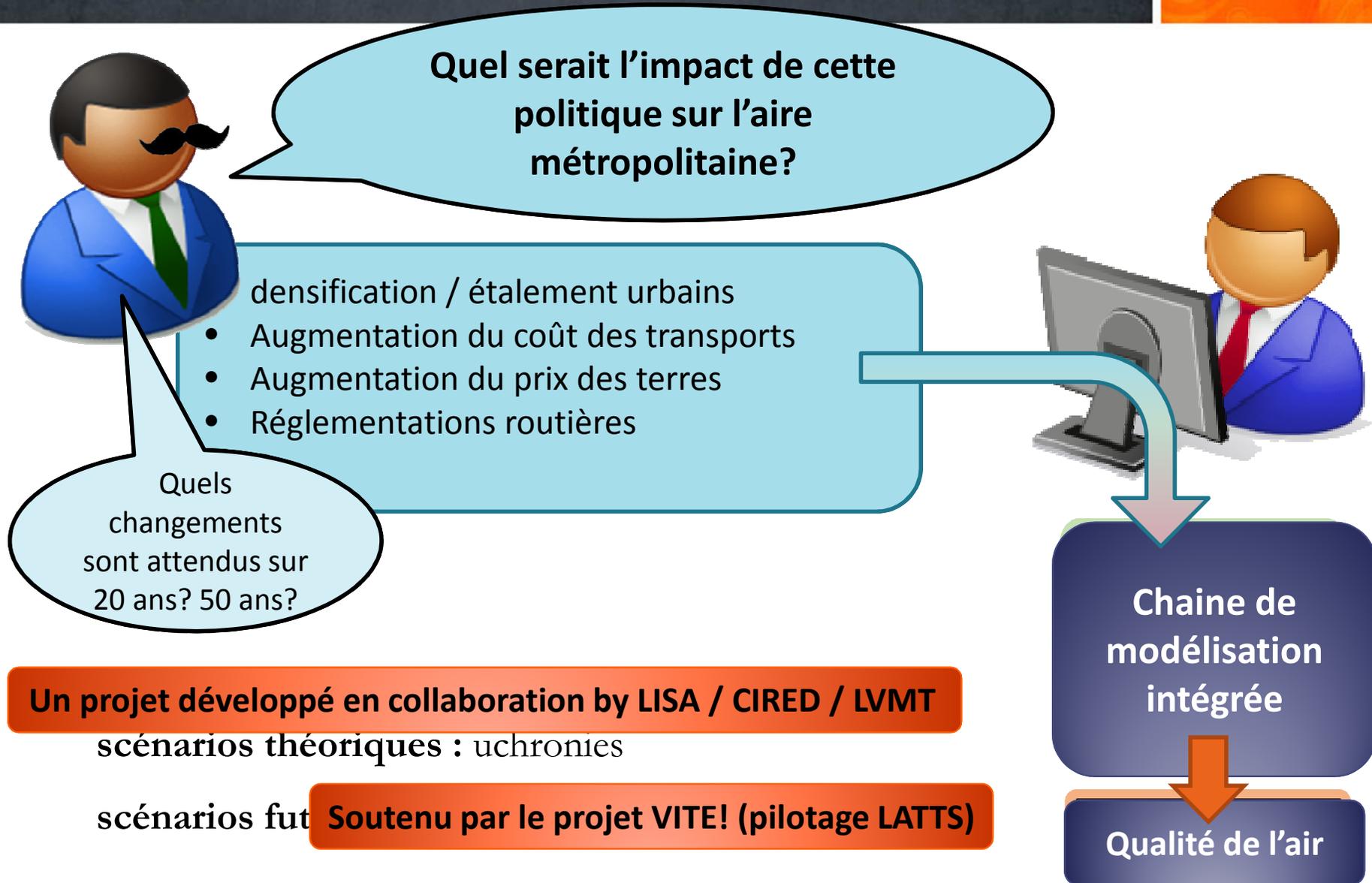
Conséquences urbaines des politiques

→ Localisation centres d'emploi et zones résidentielles

→ Nouvelle utilisation des sols



# Utilisation de la chaîne de calculs

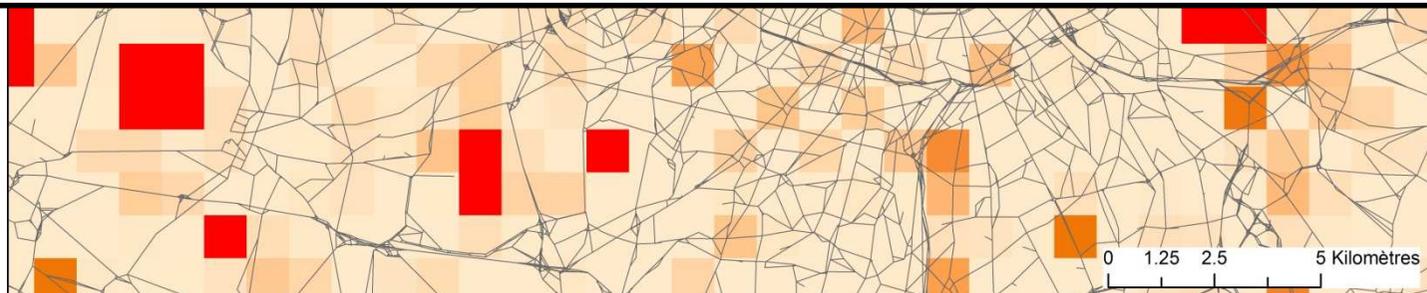


# Rafinement de la représentation du réseau

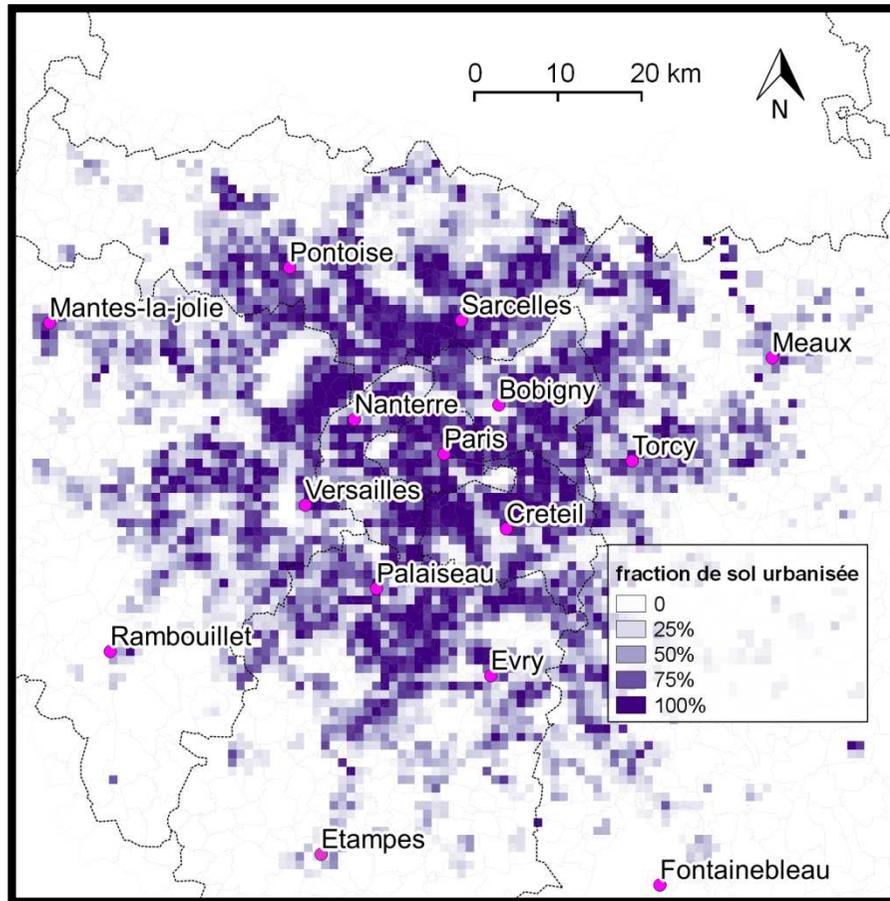
- NEDUM – MODUS : principaux axes suffisants / statistiquement pertinents



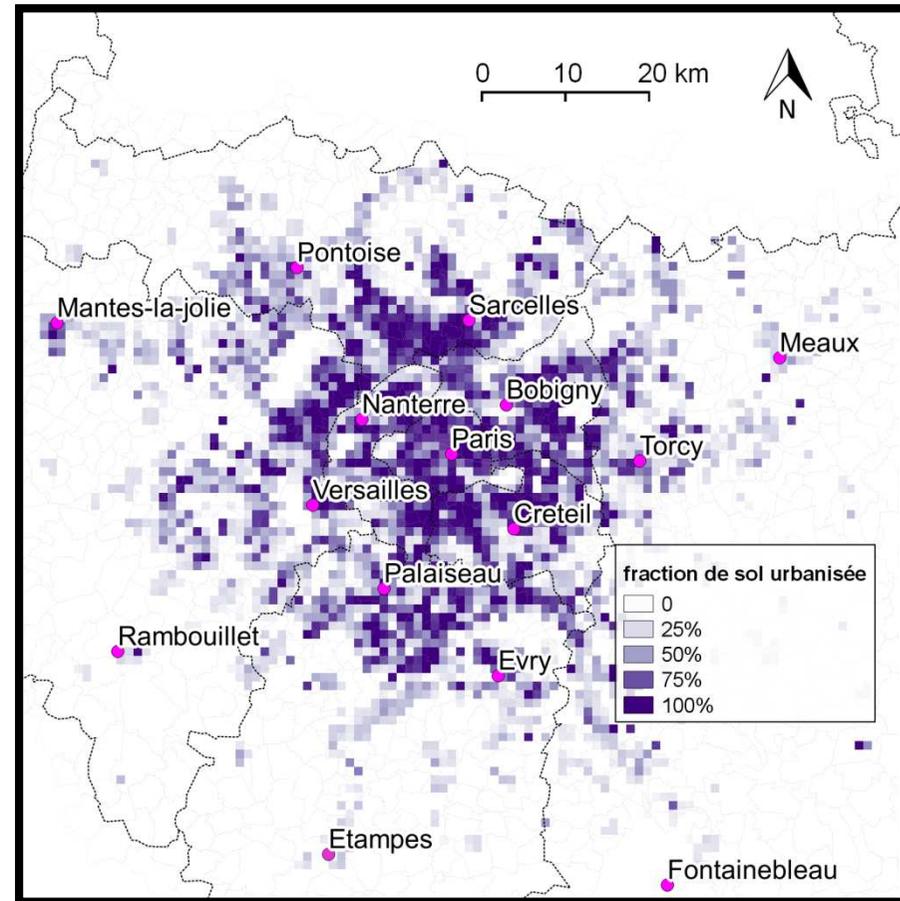
Une telle hypothèse ne pénalise pas les scénarios d'expansion mais est non acceptable en modélisation physique



# Impact des politiques urbaines : illustration



**2008 : REAL SITUATION**

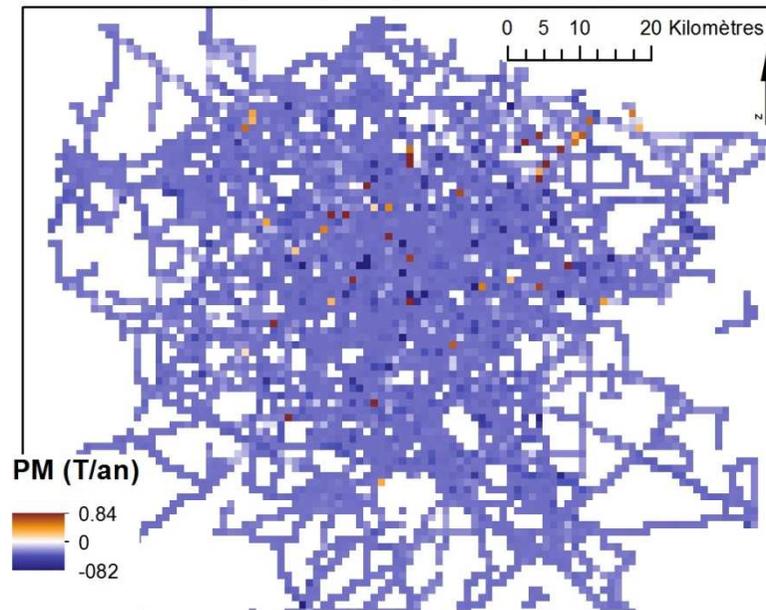


**2008 : DENSIFYING ONLY  
1960 EXISTING URBAN AREAS**

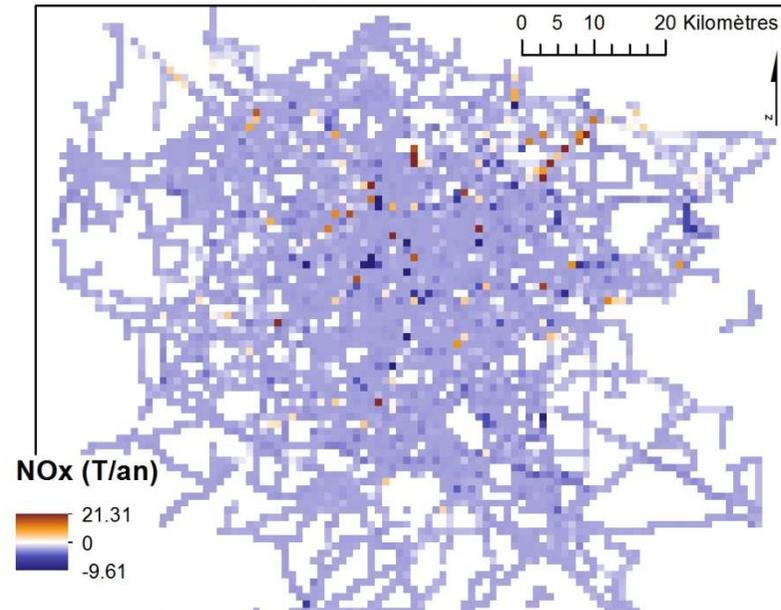
# Impact de la forme urbaine : illustrations

## Écart d'émissions de NOx et PM entre Paris actuel et un scénario de Paris densifié

Différence d'émissions de PM en Ile de France  
avec un scénario de densification



Différence d'émissions de NOx en Ile de France  
avec un scénario de densification



En violet: émissions plus importantes dans le scénario de densification

La densification de la ville provoque une augmentation globale sensible des émissions de polluants de PM et NOx.

Des pics locaux dans la zone centre autant en faveur de la densification que dans sa défaveur.

Analyse de faisabilité

## SDRIF

### Les documents de Politiques Publiques Urbaines donnent un cadre administratif et légal pour l'organisation future de l'espace urbain

- Des piliers et des enjeux spatiaux
- Enjeux climatiques
- Qualité de l'air implicite

- **relier et structurer**

*transport, mobilité, potentielle connexion à distance*

- **polariser et équilibrer**

*équilibre habitat/emploi, mixité sociale et fonctionnelle, densification*

- **préserver et valoriser**

*protéger et mettre en valeur l'environnement*

« Offre un cadre, fixe des limites, impose des orientations et laisse aux collectivités territoriales la responsabilité de la traduction de ces grandes orientations »

**N'indique aucune marche à suivre pour atteindre les objectifs**



**Merci pour votre attention**