



ANR Villes durables 2009



# Projet de recherche « INOGEV »



## Innovations pour une gestion durable de l'eau en ville

Connaissance et maîtrise de la contamination des eaux pluviales urbaines

**Caractérisation des sources de polluants atmosphériques et de leurs dépôts sur les surfaces : Sources et concentrations des polluants en milieu urbain.**

Y. Roustan, N. Cherin, M. Millet, S. Percot, V. Ruban, C. Seigneur



IFSTAR



LGCIE



Cerea

Leesu

Leesu



GRANDLYON



- Thèse de doctorat de Stéphane Percot  
(soutenue le 09 novembre 2012)
- Thèse de doctorat de Nicolas Chérin  
(en cours, soutenance prévue au printemps 2014)

1 Phénoménologie de la dispersion atmosphérique

2 Sources atmosphériques

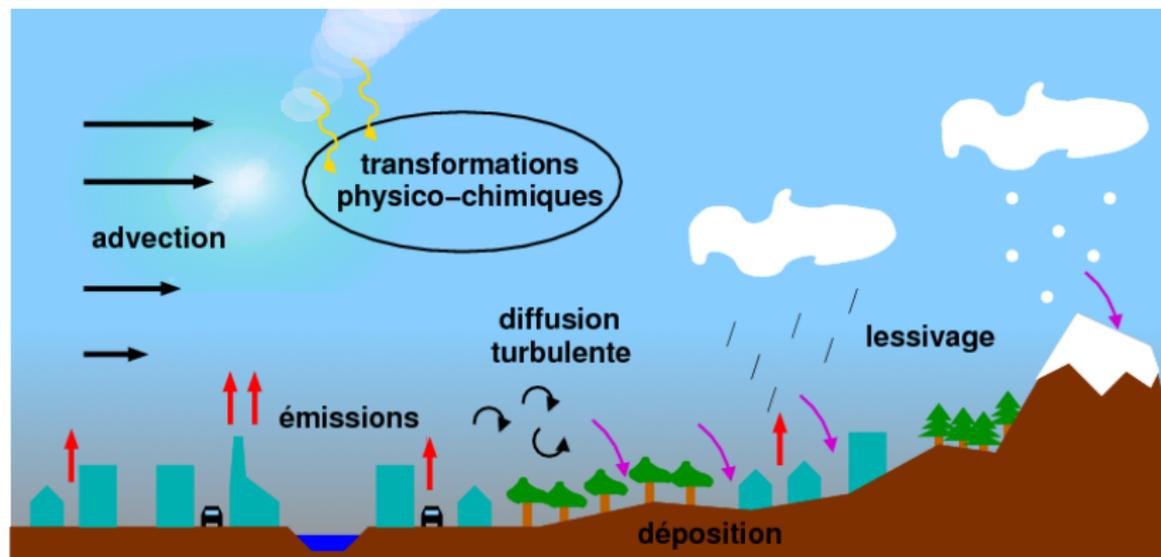
3 Concentrations atmosphériques en milieu urbain

# 1 Phénoménologie de la dispersion atmosphérique

## 2 Sources atmosphériques

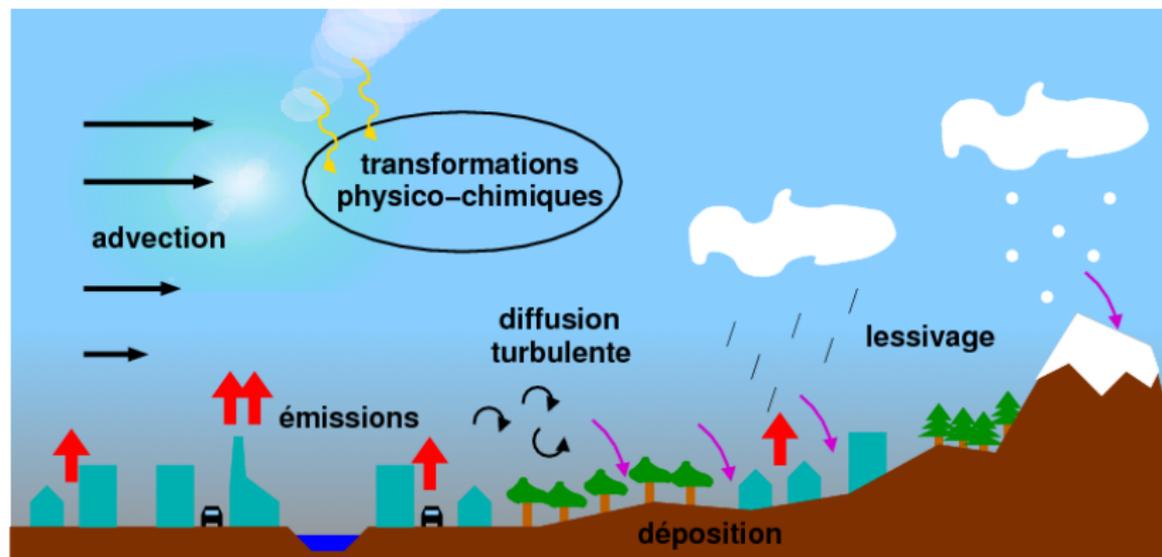
## 3 Concentrations atmosphériques en milieu urbain

# La dispersion des polluants dans l'atmosphère



Les concentrations en polluants dans l'atmosphère résultent de différents phénomènes agissant simultanément.

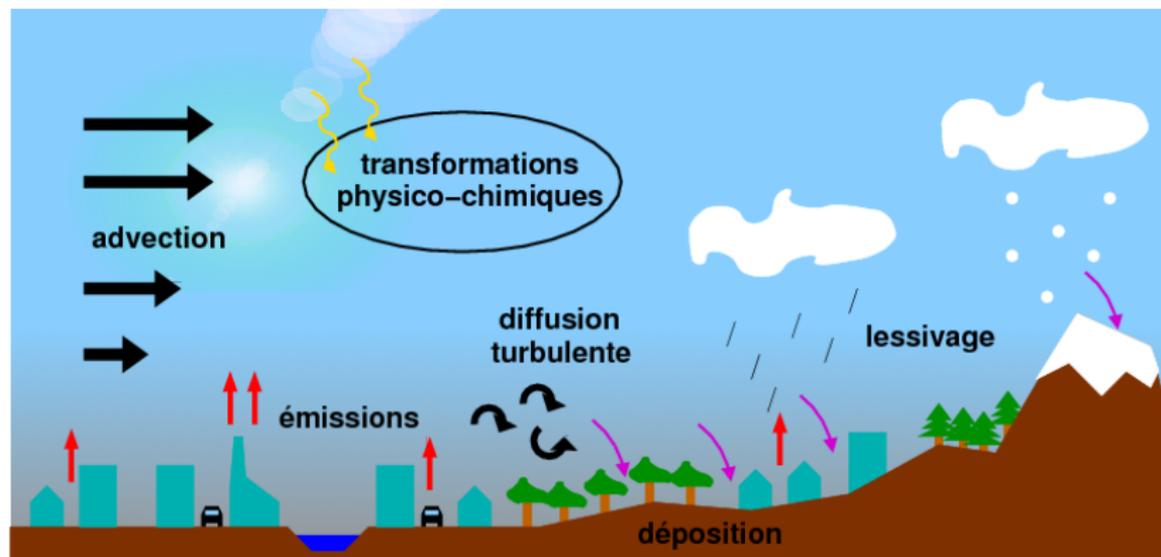
# La dispersion des polluants dans l'atmosphère



Les émissions peuvent être d'origines :

- naturelles (poussières telluriques, sels de mer, ...)
- anthropiques (combustion, transport, ...)

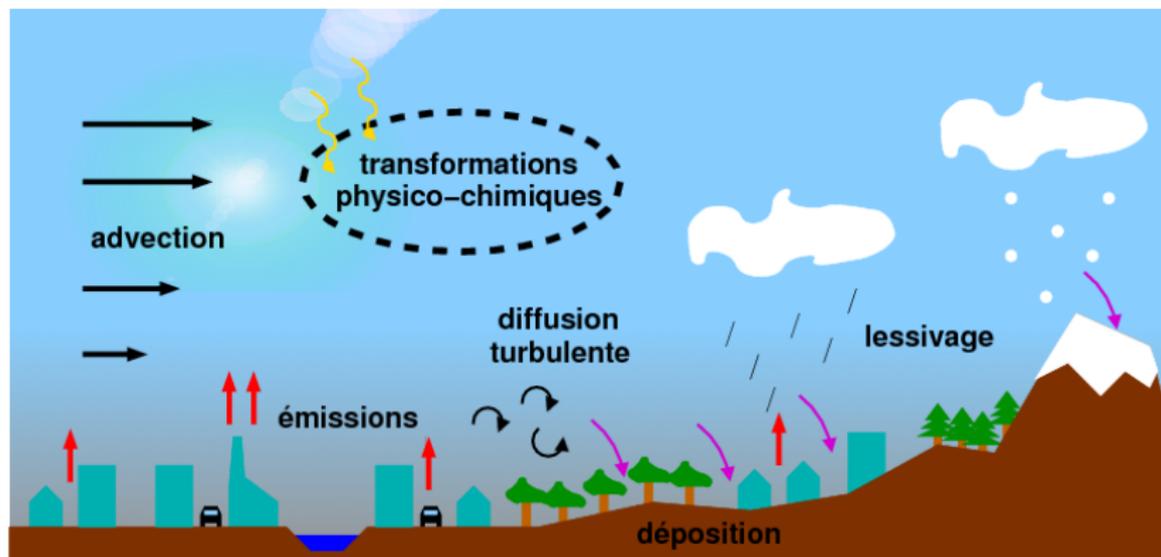
# La dispersion des polluants dans l'atmosphère



Le transport et la dispersion des polluants atmosphériques sont imputables

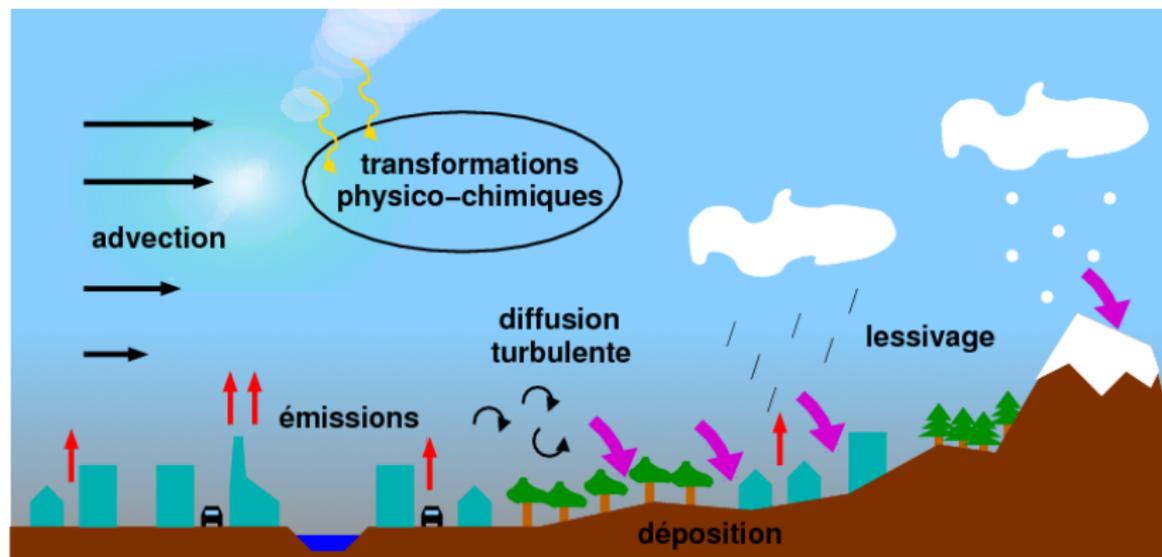
- horizontalement à l'advection moyenne par l'écoulement atmosphérique
- verticalement à la turbulence d'origine convective et mécanique.

# La dispersion des polluants dans l'atmosphère



Certains polluants peuvent être dégradés, notamment par photolyse ou oxydation et changer de phase au cours de leur transport.

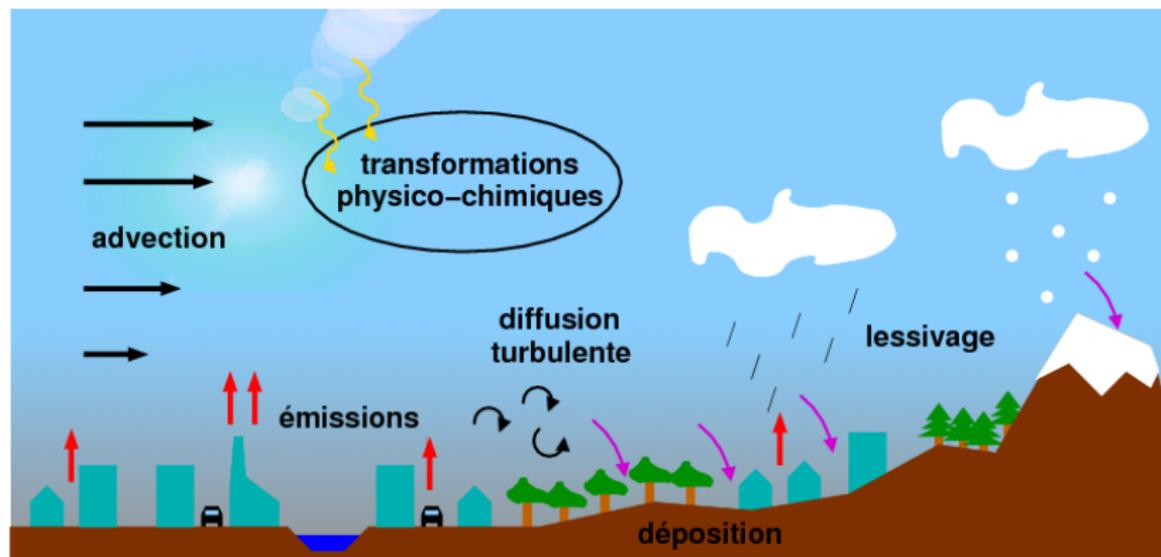
# La dispersion des polluants dans l'atmosphère



Le retrait de l'atmosphère se fait par

- dépôt sec
- dépôt humide

# La dispersion des polluants dans l'atmosphère



Le projet INOGEV a donné lieu à des études expérimentales et par modélisation pour évaluer les concentrations et les dépôts atmosphériques sur les surfaces urbaines.

1 Phénoménologie de la dispersion atmosphérique

**2 Sources atmosphériques**

3 Concentrations atmosphériques en milieu urbain

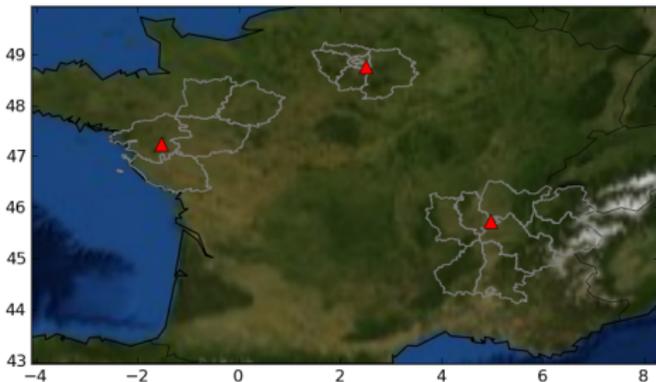
# Périmètre de l'étude

## Les polluants initialement ciblés pour la réalisation d'inventaire

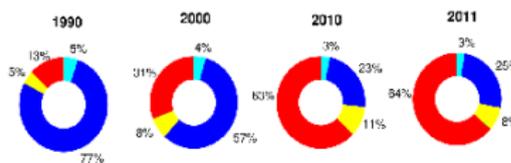
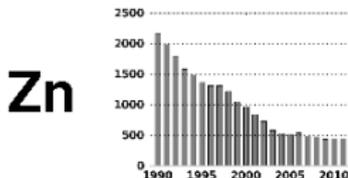
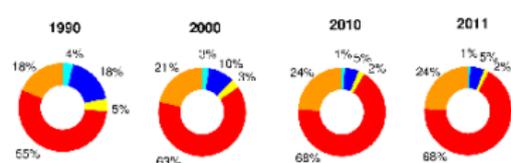
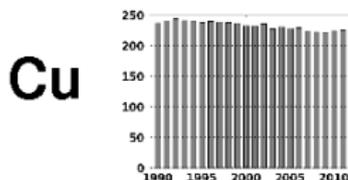
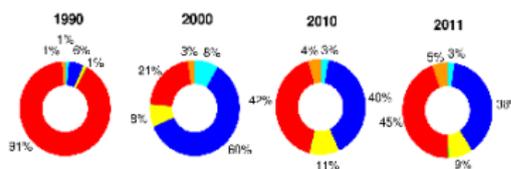
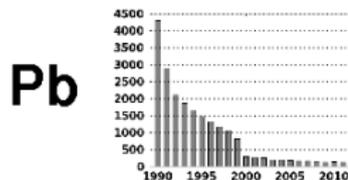
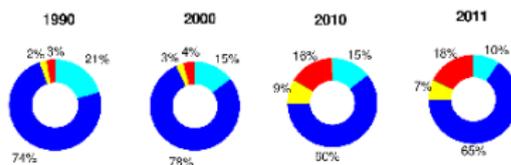
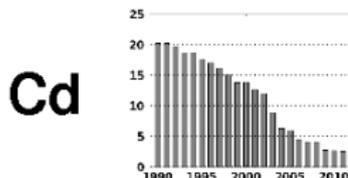
- Métaux / éléments traces métalliques : Cd, Cu, Pb et Zn
- Polluants organiques persistants
  - ▶ Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)
  - ▶ Pesticides
  - ▶ Polybromodiphényléthers (PBDE)
  - ▶ Alkylphénols (AP)

## 3 bassins versants

- Pays de la Loire - Nantes :  
bassin du Pin Sec
- Île-de-France :  
bassin de Sucy-en-Brie
- Rhône-Alpes - Chassieu :  
bassin Django Rheinart



# Émissions des métaux en France (en tonnes)



**Transformation  
énergie**

**Industrie  
manufacturière**

**Résidentiel  
tertiaire**

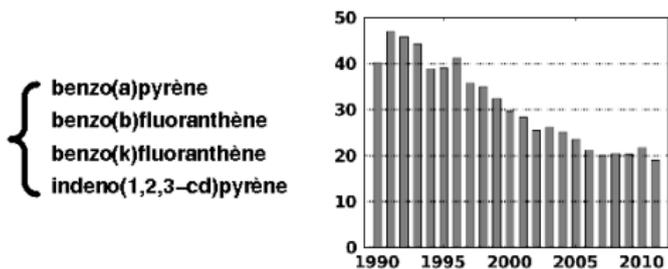
**Agriculture  
sylviculture**

**Transport  
routier**

**Autres  
transports**

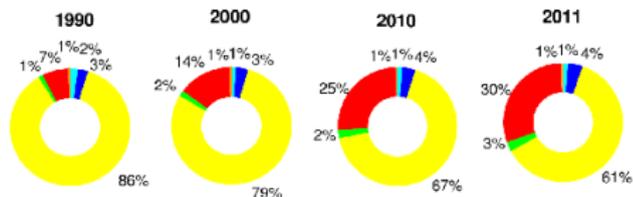
Données CITEPA  
Rapport SECTEN 2013

# Émissions des HAP en France (en tonnes)



+

fluoranthène  
benzo(g,h,i)pérylène  
dibenzo(a,h)anthracène  
benzo(a)anthracène



Transformation  
énergie

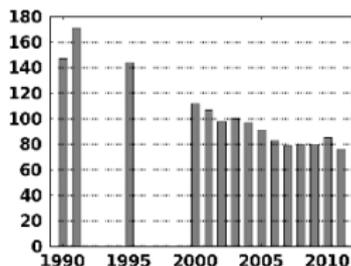
Résidentiel  
tertiaire

Transport  
routier

Industrie  
manufacturière

Agriculture  
sylviculture

Autres  
transports



Données CITEPA  
Rapport SECTEN 2013



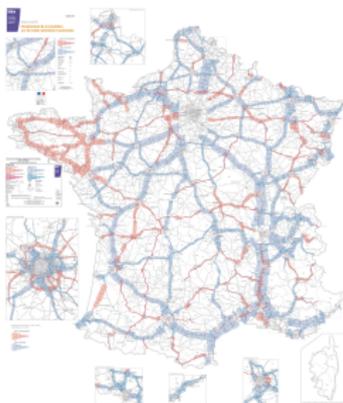
# De l'inventaire au cadastre... à fine résolution

## Affiner la spatialisation

- EMEP "LPS" : cadastre des "Large Point Source" (géolocalisées)
- CORINE Land Cover Europe : données d'occupation des sols à 250 m de résolution.
- ADéLie : recensement de la circulation sur le réseau routier national (tronçons géolocalisés).
- INSEE : données de densité de population à 1 km de résolution.



CORINE Land Cover Europe



ADéLie



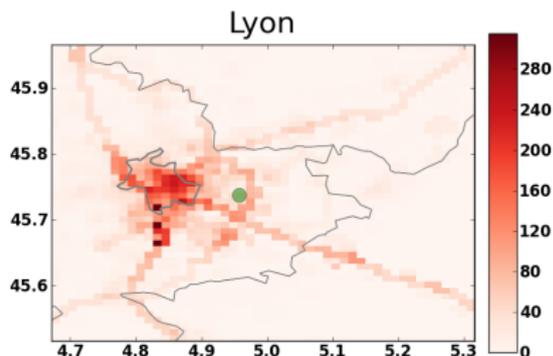
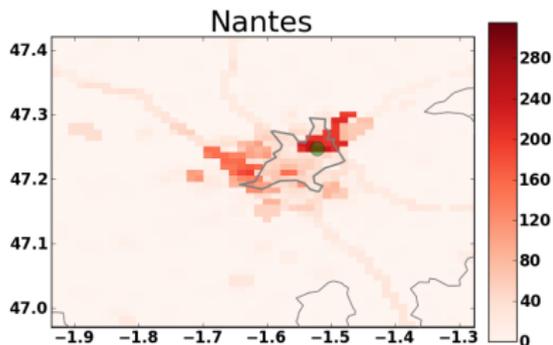
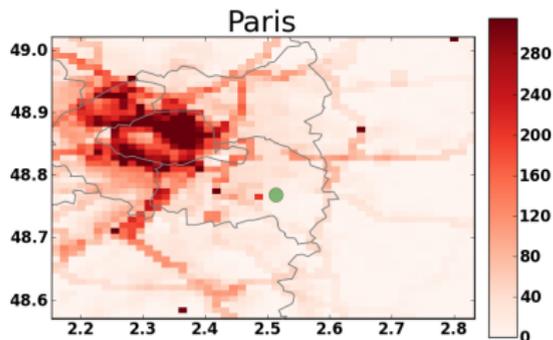
INSEE

# Cadastre à résolution kilométrique

## cadastres affinés pour INOGEV

- cadmium
- plomb
- HAP (au sens de la CEE NU)

Émissions annuelles de cadmium sur  
les trois régions urbaines.  
(en  $\text{g}/\text{km}^2/\text{an}$ )



1 Phénoménologie de la dispersion atmosphérique

2 Sources atmosphériques

3 Concentrations atmosphériques en milieu urbain

# Mesures de concentrations dans l'air à Nantes

## Bassin versant du Pin Sec

Campagne continue de mai 2010 à juin 2011 avec deux Partisol 2000-FRM.

- PM<sub>10</sub> pour les ETM
- PM<sub>10</sub> et gaz pour les POPs
- station météorologique

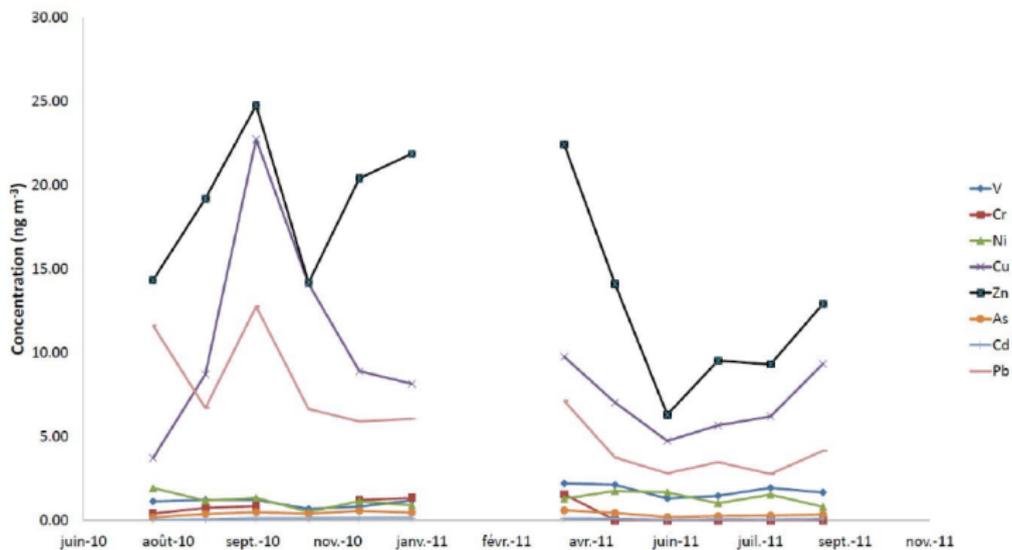


Partisols pour la mesure des ETM (à gauche) et des polluants organiques (à droite).

## Espèces détectées par les systèmes d'observations

- ETM : vanadium, chrome, nickel, cuivre, zinc, arsenic, cadmium et plomb.
- HAP : naphtalène, fluorène, fluoranthène, pyrène, benzo[a]anthracène, benzo[b]fluoranthène, benzo[k]fluoranthène, benzo[a]pyrène, benzo[g,h,i]perylène, dibenzo[a,h]anthracène, phénanthrène et anthracène.
- Pesticides : non détectés

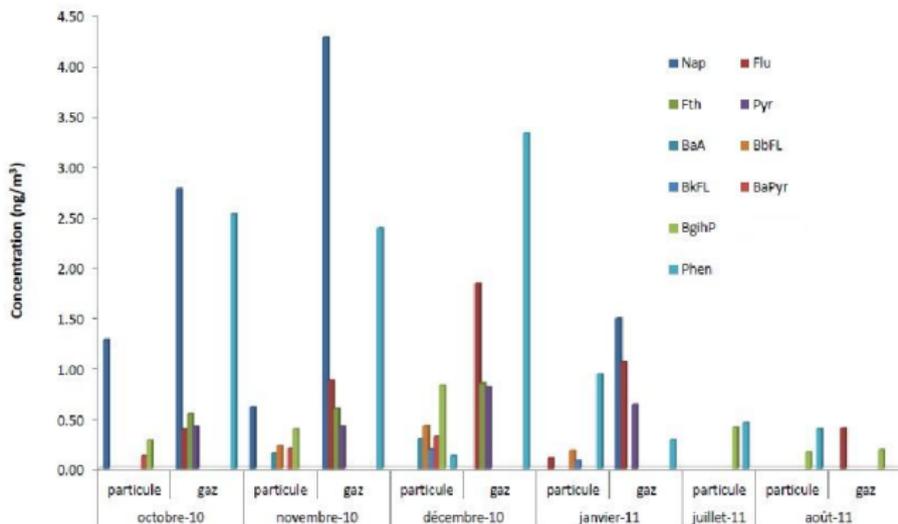
# Concentrations atmosphériques des métaux observées à Nantes



Évolution mensuelle des concentrations en ETM dans les PM<sub>10</sub>.

- Importantes fluctuations des concentrations mensuelles.
- Concentrations largement inférieures aux valeurs cibles de la LAURE pour As, Cd et Ni et à la valeur limite et l'objectif de qualité pour Pb.

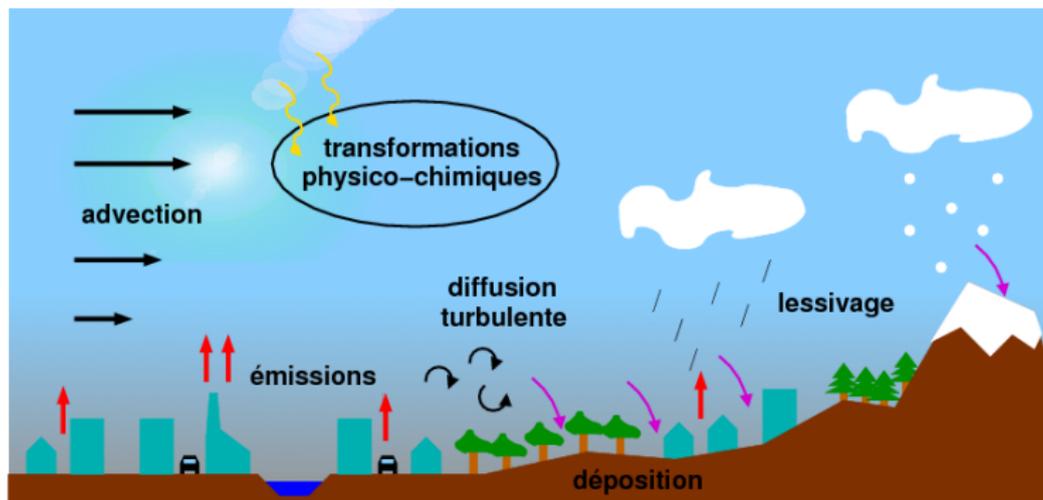
# Concentrations atmosphériques des HAP observées à Nantes



Évolution mensuelle des concentrations en HAP en phase gazeuse et dans les PM<sub>10</sub>.

- Concentrations plus fortes en période hivernale.
- Concentrations largement inférieures aux valeurs cibles de la LAURE pour le benzo[a]pyrène.

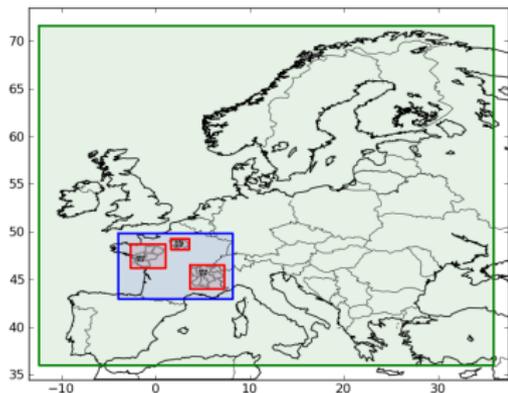
# Modélisation des concentrations dans l'air à Nantes, Paris et Lyon



## Équation de transport (conservation de la masse)

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = - \underbrace{\nabla \cdot (\mathbf{V} c_i)}_{\text{advection}} + \underbrace{\nabla \cdot (\mathbf{K} \nabla c_i)}_{\text{diffusion turbulente}} + \underbrace{\chi(c_i, c_j, T \dots)}_{\text{physico-chimie}} - \underbrace{\frac{\partial V_d c_i}{\partial z}}_{\text{dépôt sec et humide}} - \lambda c_i + \underbrace{S_i}_{\text{émission}}$$

# Modélisation des concentrations dans l'air à Nantes, Paris et Lyon



## Résolutions spatiales

"Europe"	~ 60 km × 60 km
"France"	~ 15 km × 15 km
Pays de Loire	~ 5 km × 5 km
Île-de-France	~ 3 km × 3 km
Rhône-Alpes	~ 5 km × 5 km
Nantes	~ 1 km × 1 km
Paris	~ 1 km × 1 km
Lyon	~ 1 km × 1 km

## Données générées et/ou utilisées

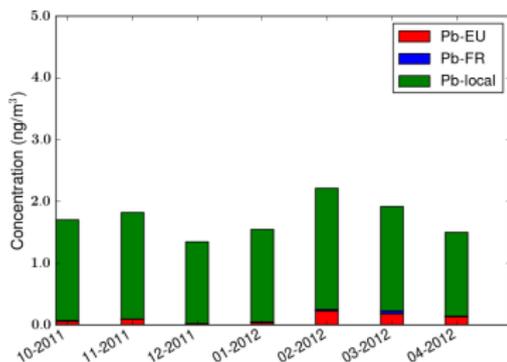
- Météorologie : simulations du modèle méso-échelle WRF
- Émissions : cadastre EMEP et cadastre EMEP affiné
- Occupation des sols : CORINE Land Cover Europe
- Période simulée : octobre 2011 à avril 2012
- Espèces simulées : plomb et cadmium

# Concentrations atmosphériques simulées pour le plomb

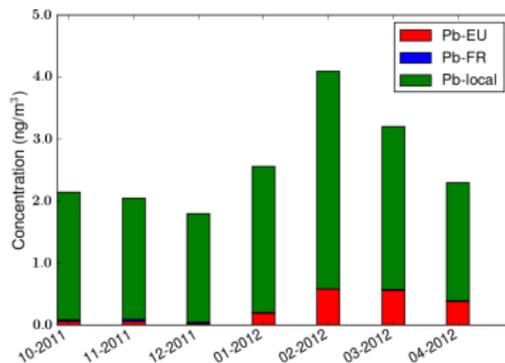
- ordre de grandeur correct
- sous-estimation ( $\sim$  émissions)
- contribution "locale" dominante

Concentrations mensuelles en plomb pour les bassins versants (en  $\text{ng}/\text{m}^3$ ).

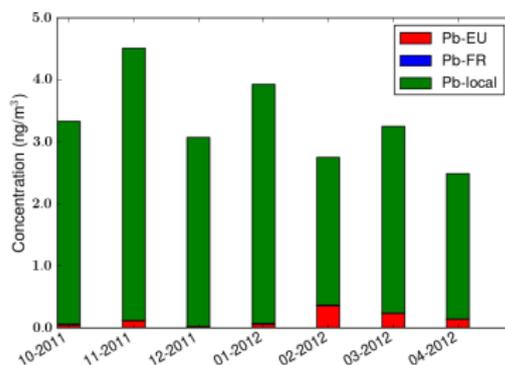
## Nantes



## Paris



## Lyon

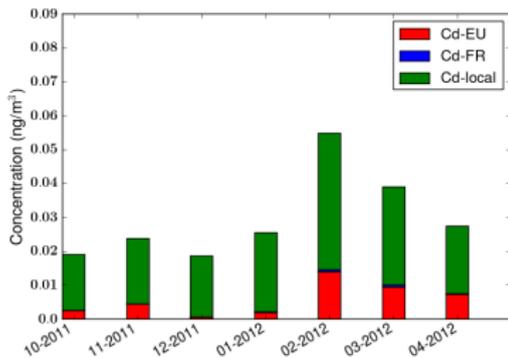


# Concentrations atmosphériques simulées pour le cadmium

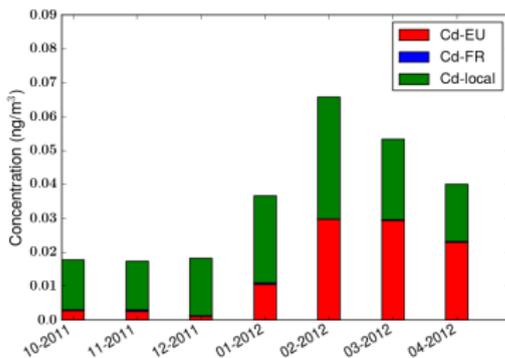
- ordre de grandeur correct
- sous-estimation ( $\sim$  émissions)
- contribution "continentale" importante

Concentrations mensuelles en cadmium pour les bassins versants (en  $\text{ng}/\text{m}^3$ ).

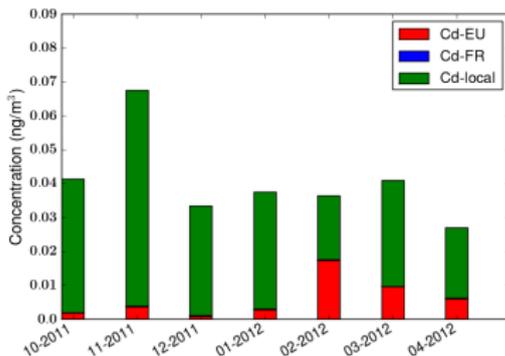
## Nantes



## Paris



## Lyon



## Futur proche et perspectives

- Consolidation de la modélisation mise en place
  - ▶ Intégration des émissions naturelles.
  - ▶ Comparaison/utilisation de cadastres à fine résolution (cadastre AIRPARIF, INS).
  - ▶ Analyse de sensibilité, notamment pour les processus de dépôts.
- Extension de la modélisation aux HAP.
- Traitement dédié des sources locales.