



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



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

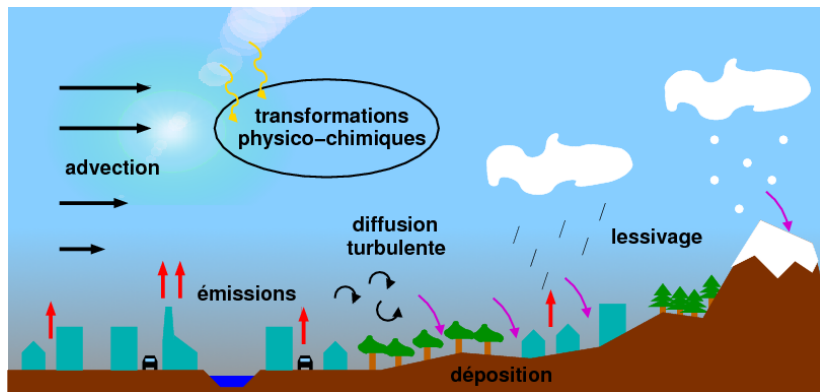
3 Concentrations atmosphériques en milieu urbain

1 Phénoménologie de la dispersion atmosphérique

2 Sources atmosphériques

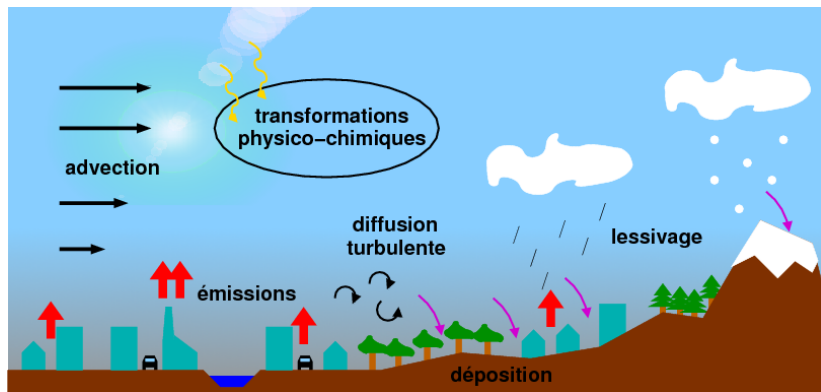
3 Concentrations atmosphériques en milieu urbain

La dispersion des polluants dans l'atmosphère



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

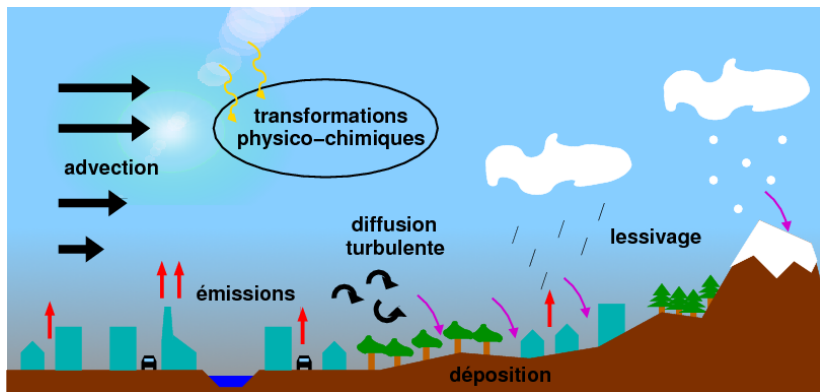
La dispersion des polluants dans l'atmosphère



Les émissions peuvent être d'origines :

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

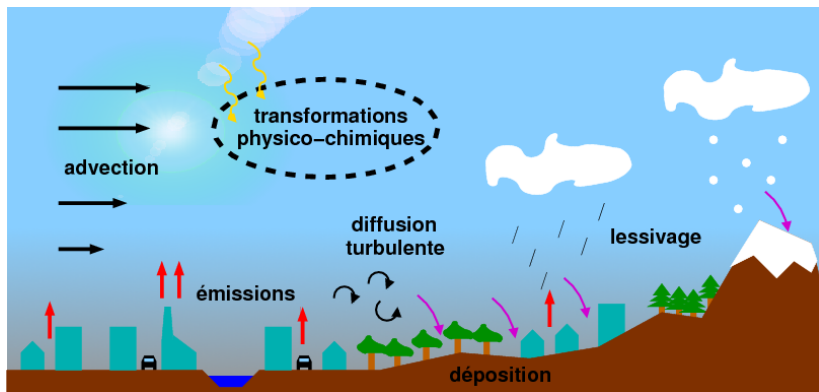
La dispersion des polluants dans l'atmosphère



Le transport et la dispersion des polluants atmosphériques sont imputables

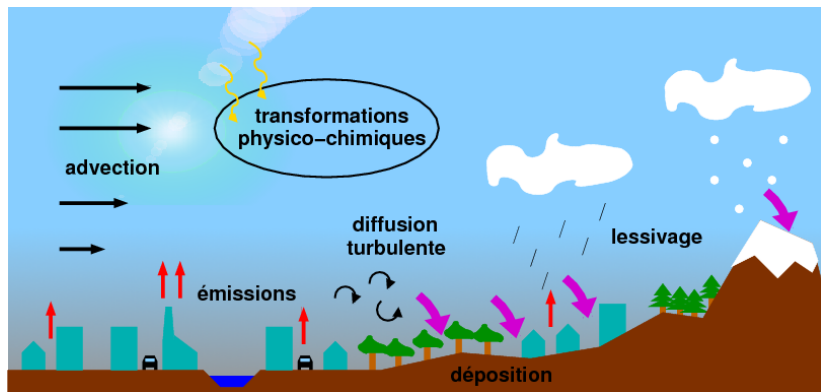
- horizontalement à l'advection moyenne par l'écoulement atmosphérique
- verticalement à la turbulence d'origine convective et mécanique.

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.

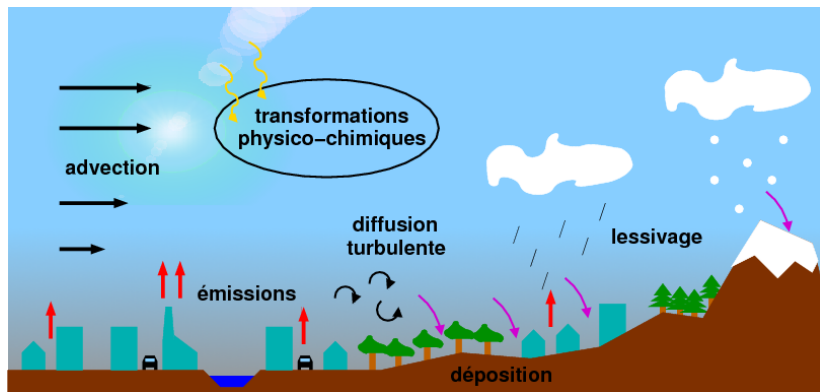
La dispersion des polluants dans l'atmosphère



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

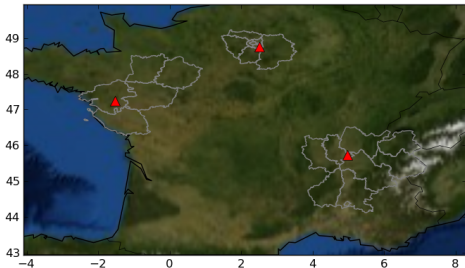
Périmètre de l'étude

Les polluants initialement ciblés pour la réalisation d'inventaire

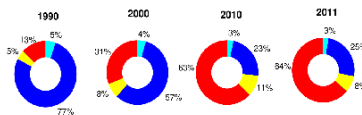
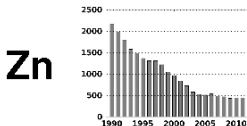
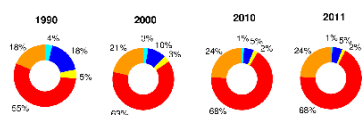
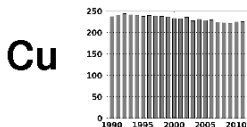
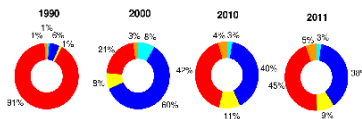
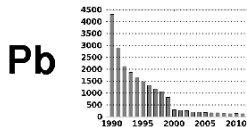
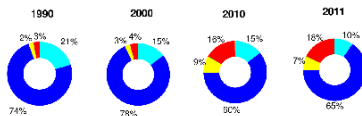
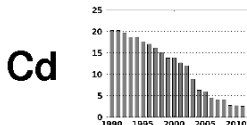
- Métaux / éléments traces métalliques : Cd, Cu, Pb et Zn
- Polluants organiques persistants
 - ▶ Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)
 - ▶ Pesticides
 - ▶ Polybromodiphényléthers (PBDE)
 - ▶ Alkylphénols (AP)

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**

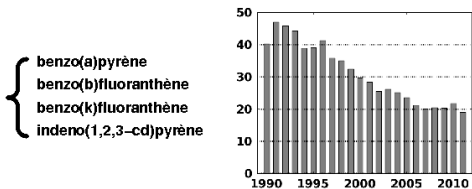
**Agriculture
sylviculture**

**Transport
routier**

**Autres
transports**

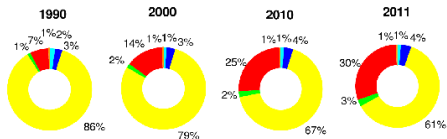
Données CITEPA
Rapport SECTEN 2013

Émissions des HAP en France (en tonnes)



+

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



Transformation
énergie

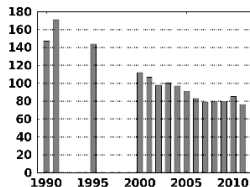
Résidentiel
tertiaire

Transport
routier

Industrie
manufacturière

Agriculture
sylviculture

Autres
transports

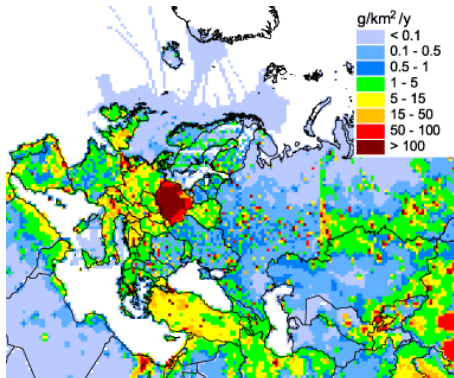


Données CITEPA
Rapport SECTEN 2013

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

Cadastre européen EMEP

Les cadastres d'émissions établis dans le cadre de la convention sur la pollution atmosphérique transfrontière sont utilisés comme base de spatialisation.



Émissions de cadmium pour 2011.

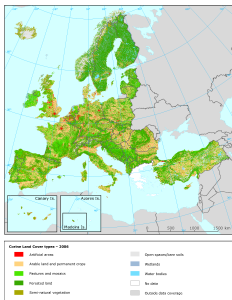
Nomenclature GNFR

- A Public Power
- B Industrial combustion
- C Small combustion
- D Industrial process
- E Fugitive emissions
- F Solvents
- G Road rail
- H Shipping
- I Off road mobility
- J Civil aviation - LTO
- K Civil aviation - cruise
- L Other waste displacement
- M Waste water
- N Waste incineration
- O Agricultural livestock
- P Agricultural other
- Q Agricultural wastes
- R Other
- S Natural
- T International aviation cruise

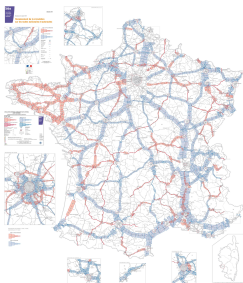
De l'inventaire au cadastre... à fine résolution

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



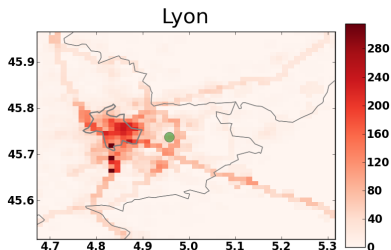
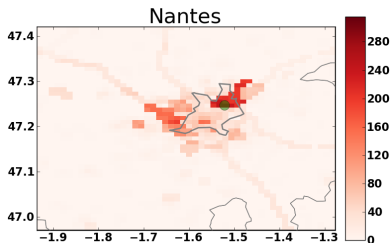
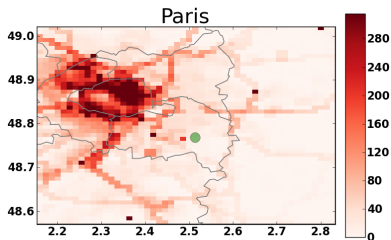
INSEE

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.

- PM₁₀ pour les ETM
- PM₁₀ et gaz pour les POPs
- station météorologique

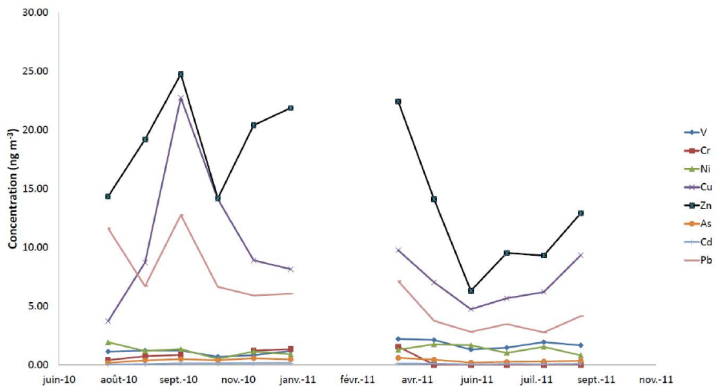


Partisols pour la mesure des ETM (à gauche) et des polluants organiques (à droite).

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

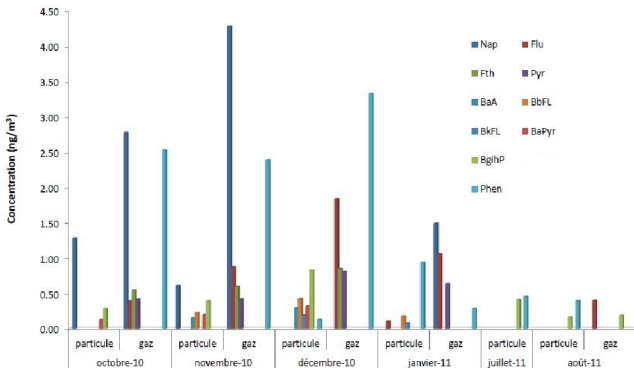
Concentrations atmosphériques des métaux observées à Nantes



Évolution mensuelle des concentrations en ETM dans les PM₁₀.

- 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.

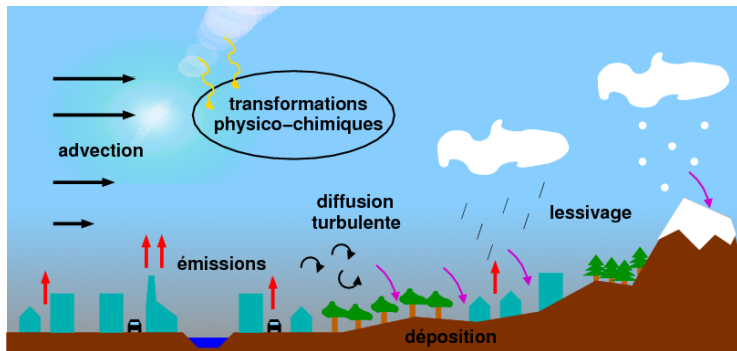
Concentrations atmosphériques des HAP observées à Nantes



Évolution mensuelle des concentrations en HAP en phase gazeuse et dans les PM₁₀.

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

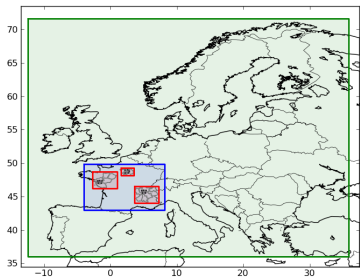
Modélisation des concentrations dans l'air à Nantes, Paris et Lyon



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

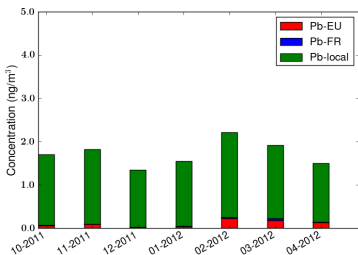
- Période simulée : octobre 2011 à avril 2012
- Espèces simulées : plomb et cadmium

Concentrations atmosphériques simulées pour le plomb

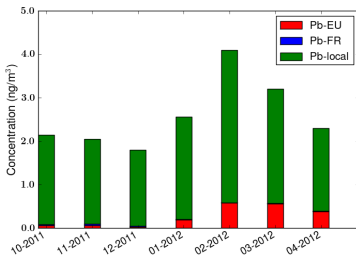
- ordre de grandeur correct
- sous-estimation (\sim émissions)
- contribution "locale" dominante

Concentrations mensuelles en plomb pour les bassins versants (en ng/m^3).

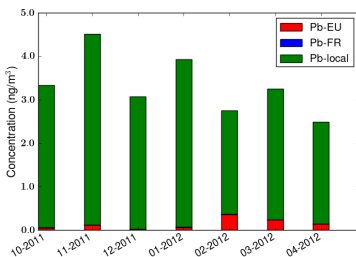
Nantes



Paris



Lyon

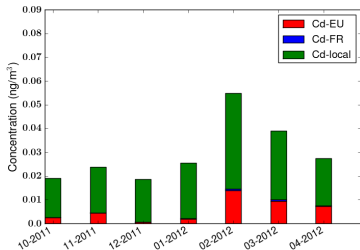


Concentrations atmosphériques simulées pour le cadmium

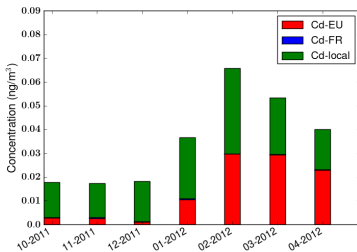
- ordre de grandeur correct
- sous-estimation (\sim émissions)
- contribution "continentale" importante

Concentrations mensuelles en cadmium pour les bassins versants (en ng/m^3).

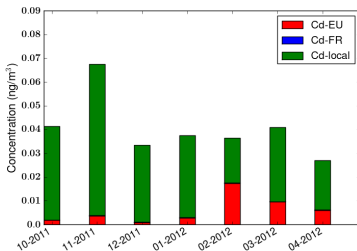
Nantes



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.