

## Evaluation of numerical models used to simulate atmospheric pollution near roadways

**HARMO 13**, Paris, 1-4 June 2010

# Context

- Growing concern about population exposure near road traffic
- A large number of monitoring sites for which regulatory thresholds are exceeded ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ ) are traffic sites.

⇒ Modelling traffic-related pollution can be useful :

- to estimate concentrations of pollutants along the main streets and roads;
- to represent the concentration increment due to traffic in air quality maps;
- to assess and compare the impact of different traffic scenarios on air quality.

# Context and objectives

- Different modelling tools are on the market or available online.
- Most of them are based on simplified formulations of the dispersion processes at the street scale.
- They are generally easy to implement but input data (emissions, meteorology, background concentrations) and modelling parameters have to be carefully chosen.

## ⇒ Purpose of the study

constituting an information data bank accessible through Internet to help those involved in air quality monitoring to:

- evaluate the relevance and reliability of their tools according to the situation to be modelled,
- make a proper use of models.

# Website: available information and data

Web page accessible through the LCSQA website. Currently restricted to the members of the French national system for air quality monitoring (MEEDDM, ADEME, LCSQA, AASQA).

The screenshot shows the LCSQA website interface. The main content area is titled 'Pollution de proximité' and contains several sections:

- Les modèles (Models):** Lists models such as OSPM, STREET, ADMS URBAN, SIRANE, and CALINE.
- Les outils disponibles (Tools):** Provides links to Excel files for model evaluation and comparison.
- Les rapports publiés (Reports):** Lists published reports with their titles and authors.

The sidebar on the left includes:

- Groupe de travail:** PSQA, Incertitudes, Surveillance du benzène, Polluants de la 4ème directive file et plomb, Echantillonnage et reconstitution de données.
- malherbe:** Mon compte, Sondages, Agenda, Webforms.
- Raccourcis:** Formation.
- Recherche:** Recherche, Recherche thématique.

Navigation menus at the top include: Accueil, Activités, Actualités, Documentation, Programmes, Outils, Forums, GT, Séminaires, CPT, Pilotage. A secondary menu below includes: Campagne Air intérieur, Plans d'échantillonnage, Reconstitution de données, Pollution de proximité, Données pesticides.

Technical sheets about commonly used models

Excel calculation sheet for comparing time series of simulated and measured concentrations and computing statistical scores.

Links towards technical reports

To be published soon: results of sensitivity tests ; numerical model outputs

List of field measurement campaigns carried out near road traffic: description, references, corresponding data files when it is possible.



# Website: available information and data

## Nantes, Rue Crébillon

Voir Éditer

### ▼ Généralités

**Date:** 01-05-2004 - 31-12-2005

**Type de campagne:** exploitable

**Durée:** 20 mois

**Lieu de la campagne:** Nantes, Rue Crébillon

**Pays:** France

**Organismes:** Air Pays de la Loire

**Objectifs:**

Pollution de proximité dans une rue très canyon de centre ville

### Schéma d'ensemble du site:

Au milieu de la rue, côté sud

### Description du site et stratégie d'échantillonnage:

Voir rapport (réf. biblio)

### ↳ Références

↳ Polluants mesures par analyseurs automatiques

↳ Tubes et préleveurs

↳ Mesures météorologiques

↳ Sites

↳ Trafic

↳ Souscrire

## Copenhague, Jagtvej

Voir Éditer

dans Simulation de la pollution de proximité

↳ Généralités

↳ Références

↳ Polluants mesures par analyseurs automatiques

### Catégorie de polluants:

CO

C6H6

NO

NO2

**Benzène:**

Quart-horaire

**CO:**

Quart-horaire

**NO, NO2:**

Quart-horaire

↳ Mesures météorologiques

### ↳ Sites

### Classement:

Canyon

**Largeur des voies:**

4m

**Hauteur du bâti:**

18m

↳ Trafic

↳ Souscrire



## OSPM (OPERATIONAL STREET POLLUTION MODEL)

### Présentation

Le modèle OSPM est un modèle analytique de qualité de l'air à l'échelle de la rue. Il est fondé sur des considérations physiques simples mais rigoureuses caractérisant l'écoulement dans une rue canyon. La concentration est représentée comme la somme de deux contributions: la contribution directe du panache émis par le trafic, et une contribution de recirculation due à l'entraînement des polluants par le tourbillon à l'intérieur de la rue.

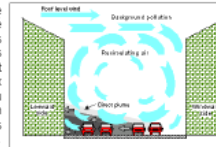


Fig. : définition de la boîte de calcul dans OSPM

OSPM incorpore un module analytique de chimie afin de prendre en compte de façon simplifiée les interactions entre NO, NO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub>.

D'un point de vue temporel, OSPM peut être mis en œuvre pour des pas de calcul de l'ordre de l'heure.

### Formulation

Les émissions sont traitées comme des sources linéiques perpendiculaires à la direction du vent au niveau de la rue. Elles sont supposées se distribuer uniformément dans la rue.

La contribution directe de ces émissions est calculée selon un modèle linéique.

La contribution de recirculation est calculée à l'aide d'un modèle de boîte de calcul trapézoïdale dans laquelle s'étend le tourbillon (Figure). La concentration est décrite comme la résultante de deux composantes de la vitesse de vent et une partie liée au mouvement des véhicules.

### Paramètres

Les paramètres de la rue sont: la largeur (m), la hauteur (m) des bâtiments de part et d'autre de la rue (H1 et H2), la longueur (m).

Les paramètres météorologiques sont: la vitesse et la direction du vent (m/s), la pression atmosphérique (W/m<sup>2</sup>), la hauteur de mélange (m), l'humidité relative (%), le nombre de véhicules par type et par heure, les facteurs d'émission associés, les concentrations de fond des polluants (µg/m<sup>3</sup>): NOx, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>.

### Notes

Le modèle OSPM a été développé par le NERI (National Environment Research Institute) Department of Atmospheric Environment.



## STREET

### Présentation

Le modèle STREET est un modèle paramétrique utilisé pour évaluer les concentrations des principaux polluants gazeux et particulaires émis par le trafic automobile dans la rue. Il repose sur une base de données de simulations numériques réalisées avec le modèle eulérien tridimensionnel MISKAM.

Cette base de données comprend plus de 100000 valeurs de concentration calculées dans un grand nombre de configurations à partir d'émissions normalisées. Elle représente au total 98 types de rues, carrefours et intersections et 30 situations météorologiques définies par 5 directions et 6 vitesses de vent.

Les résultats de MISKAM stockés dans STREET sont représentatifs d'une moyenne annuelle ou, dans le cas particulier du NO<sub>2</sub>, du centile 98. Ces statistiques annuelles sont issues du module statistique dont est doté MISKAM. Pour une configuration (rue, vent) et un polluant déterminés, la valeur contenue dans la base de STREET correspond au maximum spatial des concentrations calculées par MISKAM dans un domaine maillé d'environ 200 m x 200 m x 50 m, qui vérifie les critères suivants: la maille associée est située au niveau des piétons, en bord de voie et à au moins 2 m des bâtiments.

D'un point de vue temporel, STREET est donc réservé à des calculs selon un pas de temps annuel; il ne convient pas à des pas de temps plus fins.

### Formulation

Le modèle STREET n'effectue aucun calcul de dispersion. Il recherche dans la base de données la concentration maximale normalisée correspondant aux configurations géométriques et météorologiques indiquées par l'utilisateur et ajuste linéairement cette concentration en fonction du débit d'émissions. Le résultat est assorti d'un intervalle de confiance.

### Paramètres

Les paramètres d'entrée sont:

- l'orientation de la rue et sa description (type de rue, nombre de voies, type de bâti, rapport hauteur/largeur): une configuration à choisir parmi les 98 proposées
- les émissions du trafic: elles sont calculées par STREET, à partir des caractéristiques du trafic (nature, nombre et vitesse moyenne des véhicules) et d'une base de facteurs d'émission tirée du logiciel IMPACT 2 de l'ADEME (COPERT III). La version 5.2 du logiciel permet également de prendre en compte les émissions de PM10 dues à l'abrasion des pneus. Avec la version 5.2 de STREET, l'utilisateur peut aussi fournir directement au modèle des données d'émission.
- la vitesse et la direction de vent



# Implementation of the models

To provide

- quantitative results of comparison between model outputs and measurements,
- guidelines about the respective application areas of the models,

several common tools have been implemented for some of the streets included in the list of campaigns :

- 1 **street canyon**, Berlin, Germany, 45000 veh/day (TRAPOS, 1995)
- 1 **street canyon**, Hanovre, Germany, 30000 veh/day (TRAPOS, 1994)
- 1 **street canyon**, Copenhagen, Denmark, 22000 veh/day (TRAPOS, 1995)
- 1 **deep street canyon**, Nantes, France, 10700 veh/day (AIR PL, 2004-2005)
- 1 **street canyon**, Nantes, France, 27100 veh/day (AIR PL, 2004-2005)
- 1 **semi-open street**, Nantes, France, 43800 veh/day (AIR PL, 2004-2005)
- On-going tests: two **open streets with intersections** (Poitiers, ATMO PC)

# Implementation of the models

## Tested models:

- **ADMS-Urban** (CERC): advanced Gaussian dispersion model with parametrization for street canyons based on OSPM formulation. Can be used at an hourly time step.
- **CALINE4** (CALTRANS): Gaussian line source dispersion model. Can be used at an hourly time step.
- **OSPM** (NERI): parametrized street canyon model. Combination of a plume model (direct contribution of traffic emissions ) and a box model (recirculating part of pollutants in the street). Can be used at an hourly time step.
- **SIRANE** (LMFA, ECL): street network model based on mass balance in each street . Exchange at the intersections and dispersion above roofs (Gaussian model) are taken into account. Can be used at an hourly time step.
- **STREET** (OXALIS-Ecomobilité, KTT): parametric model using a database of simulation outputs (coming from the 3D CFD MISKAM model). Can only provide statistical annual results.

# Implementation of the models

## TRAPOS cases, brief view of the results

### Data sets:

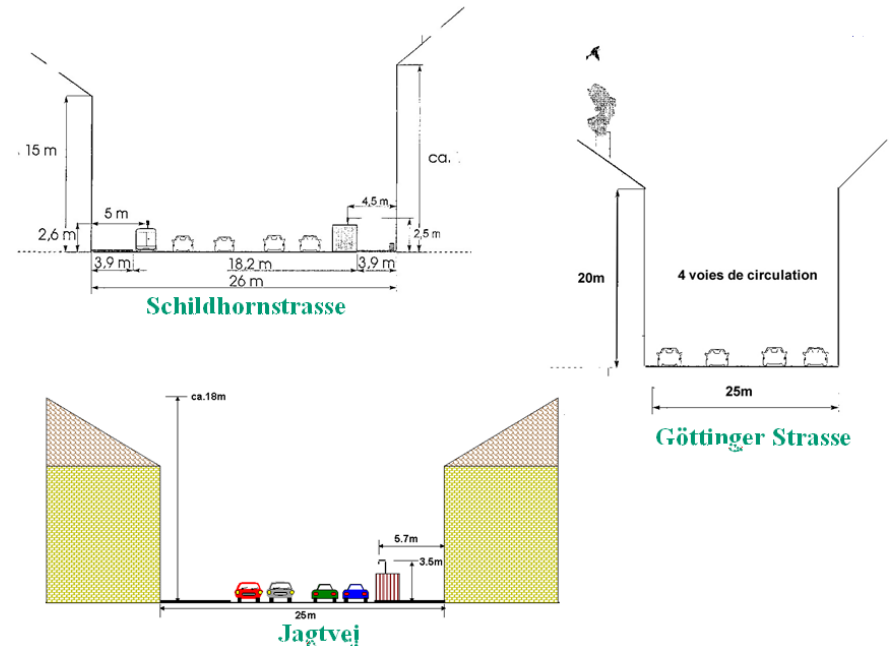
<http://www2.dmu.dk/AtmosphericEnvironment/trapos/>

### Tested models:

ADMS-Urban, CALINE4,

OSPM, STREET

**Pollutants:** NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>



Significant influence of : NO<sub>x</sub> emissions, background pollution, wind conditions and depending on the model, mixing height.

CALINE4: not appropriate for street canyons

Relative difference between modelled and measured annual mean concentrations:

NO<sub>x</sub>: -61% to +58%

NO<sub>2</sub>: -9% to -35%



# Implementation of the models

## Street canyons of Nantes

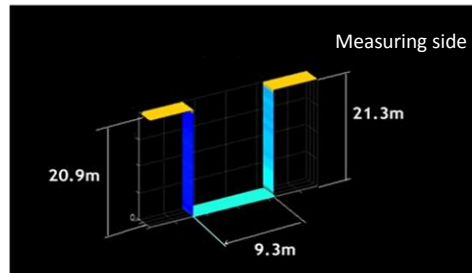
Data sets: AIR Pays de la Loire

Tested models:

ADMS-Urban, OSPM, SIRANE,  
STREET

Pollutants:  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$

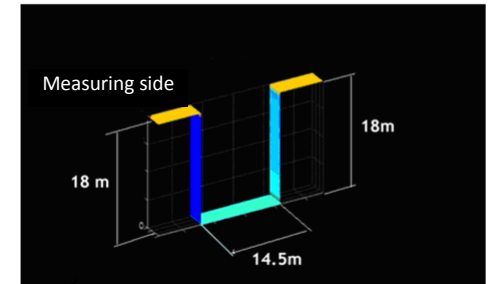
May 2004 to end April 2005  
**Rue de Crébillon**



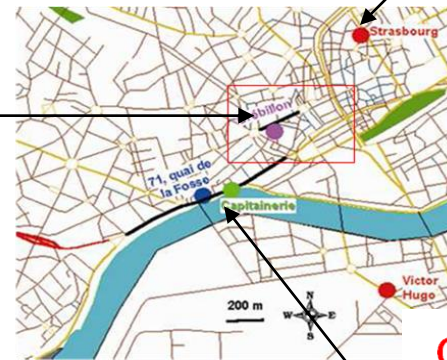
$H/W=2.3$

10650 veh/day

May 2004 to end April 2005  
**Rue de Strasbourg**

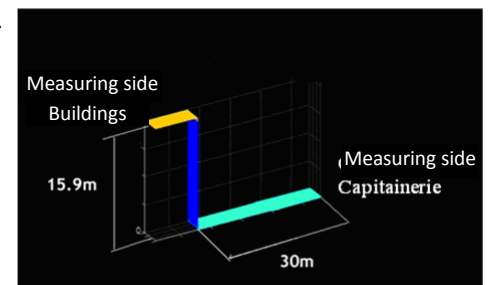


$H/W=1.2$   
27090 veh/day



Oct. 2004 to end Jan. 2005  
Dec. 2004 to end Jan. 2005

**Quai de la Fosse**



$H/W=0.5$   
43810 veh/day

# Sensitivity tests

Preliminary **sensitivity tests** performed with **ADMS-Urban**, **OSPM** and **SIRANE** on about fifteen parameters:

- Street geometry
- Background pollution
- Emissions
- Street and meteorological site characteristics

Test case: Crébillon street. Period: 2004-2005

**Sensitivity coefficients** were calculated as:

m: applied model

p: tested parameter

$p_{ref}$ : value of parameter p in the reference case

$p_i$ : modified value of parameter p

$\Delta\bar{C}$ : variation of the average concentration over the period due to the modification of p

$$Q_i^{mp} = \frac{\Delta\bar{C} \Big|_m}{\Delta p \Big|_m} \frac{(\bar{C}_i - \bar{C}_{ref})}{\bar{C}_{ref}} \frac{p_{ref}}{(p_i - p_{ref})}$$



$Max(Q_i^{mp})$   
 $Mean(Q_i^{mp})$

# Sensitivity tests

NO <sub>x</sub>	ADMS-Urban (Qmean/Qmax)	OSPM (Qmean/Qmax)	SIRANE (Qmean/Qmax)
Background concentrations	<b>0,443 / 0,443</b>	<b>0,164 / 0,314</b>	<b>0,562/ 0,573</b>
NO <sub>x</sub> emissions	<b>0,505 / 0,551</b>	<b>0,572 / 0,758</b>	<b>0,491 / 0,518</b>
Street canyon height	<b>0,221 / 0,324</b>	<b>0,402 / 0,627</b>	<b>0,135 / 0,276</b>
Street canyon width	<b>0,360 / 0,687</b>	<b>0,441 / 0,539</b>	<b>0,552 / 1,290</b>
Height of wind measurement	0,088 / 0,109		<b>0,578 / 0,808</b>

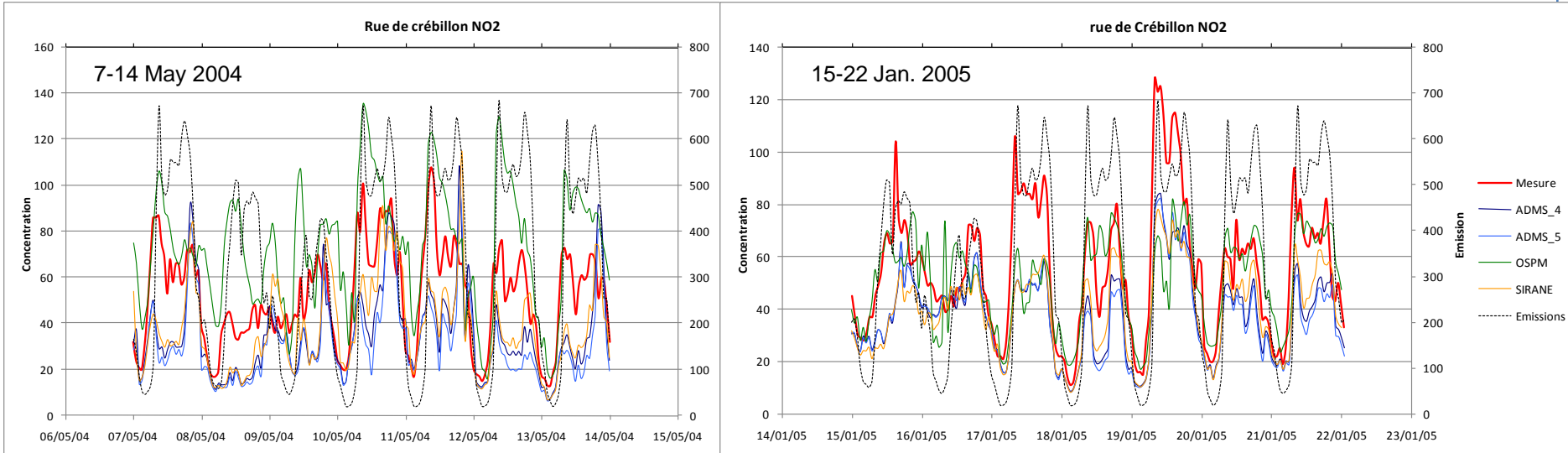


Identification of the most decisive parameters for the simulations

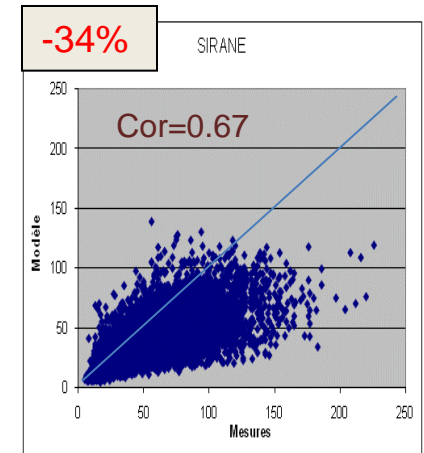
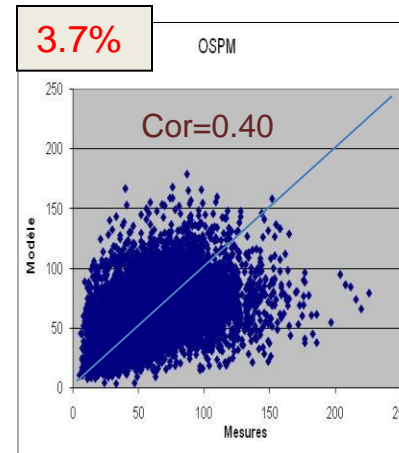
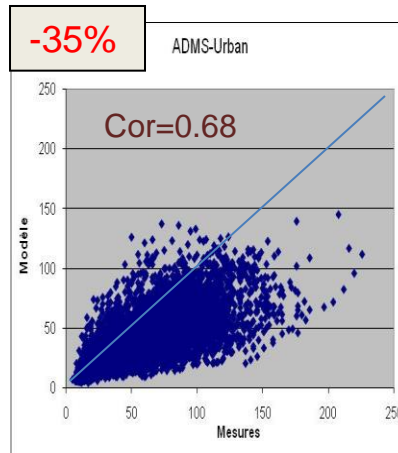
NO <sub>2</sub>	ADMS-Urban (Qmean/Qmax)	OSPM (Qmean/Qmax)	SIRANE (Qmean/Qmax)
Background concentrations	<b>0,877 / 0,879</b>	<b>0,316 / 0,610</b>	<b>0.880 / 0.926</b>
NOx emissions	<b>0,299 / 0,375</b>	<b>0,252 / 0,509</b>	<b>0,341 / 0,449</b>
NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> ratio in the emissions	0,082 / 0,082	0,086 / 0,087	0,050 / 0,050
Street canyon height	<b>0,278 / 0,318</b>	<b>0,297 / 0,523</b>	0,093 / <b>0,183</b>
Street canyon width	<b>0,211 / 0,369</b>	0,121 / <b>0,155</b>	<b>0,370 / 0,743</b>
Height of wind measurement	0,069 / 0,088		<b>0,368 / 0,526</b>

# Characteristic results

Rue de Crébillon H/W=2.3 NO<sub>2</sub>

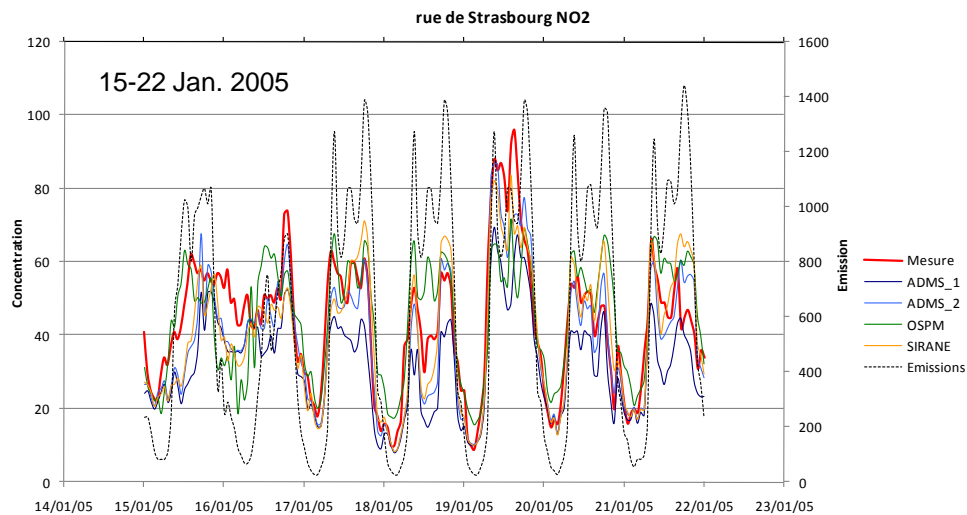
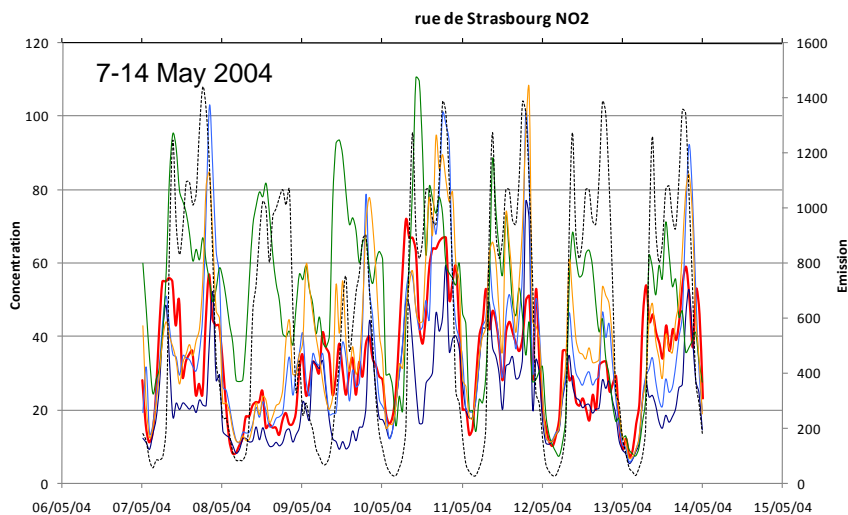


In red: relative difference between the simulated and measured annual mean concentrations (period: 1 May 2004-30 April 3005)

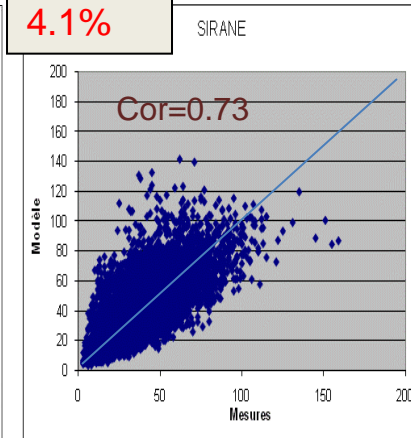
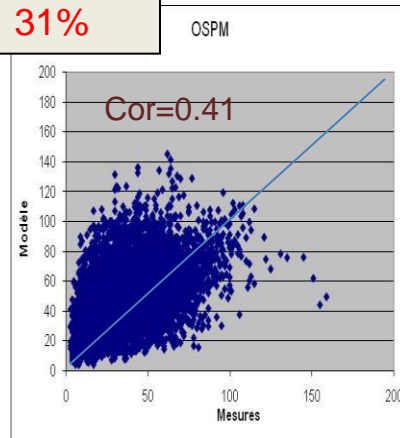
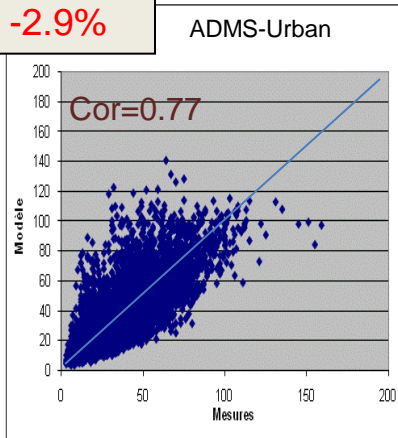


# Characteristic results

## Rue de Strasbourg H/W=1.2 NO<sub>2</sub>



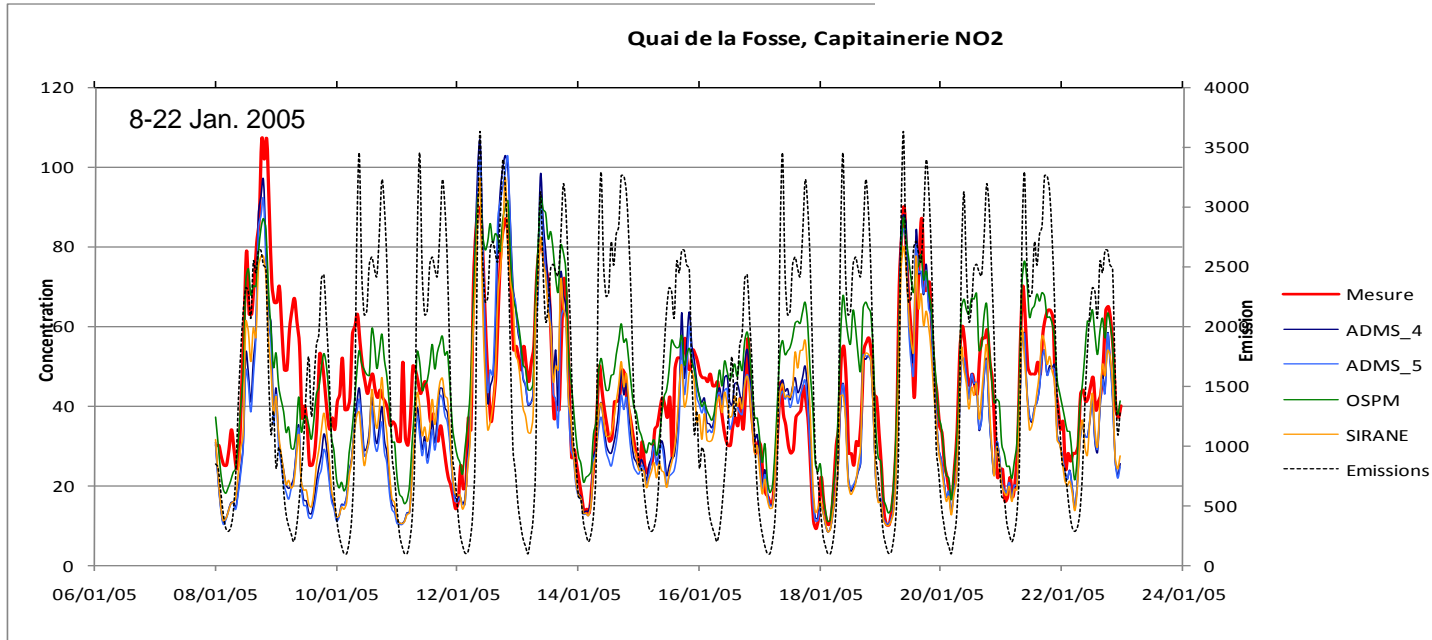
In red: relative difference between the simulated and measured annual mean concentrations (period: 1 May 2004-30 April 2005)



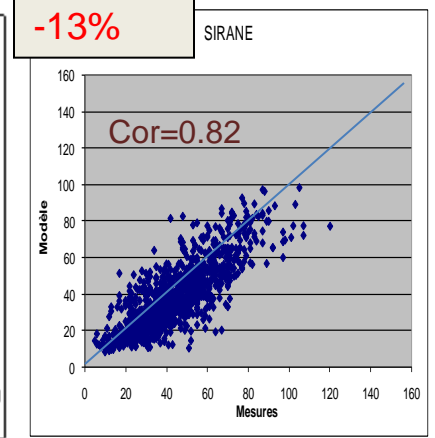
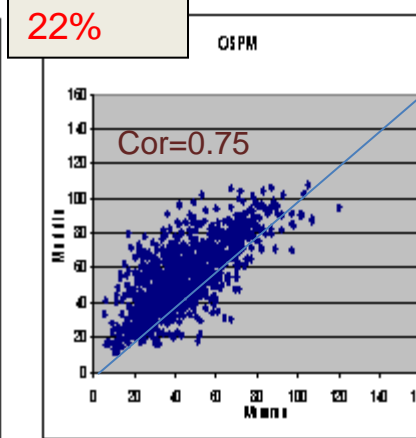
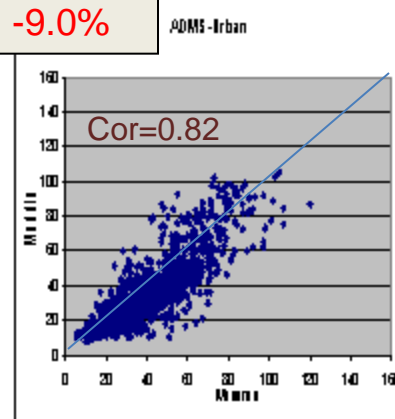
# Characteristic results

## Quai de la Fosse, open side

H/W=0.5 NO<sub>2</sub>



In red: relative difference between the simulated and measured mean concentrations (1.5 month)



# Conclusions

- Detailed and precise input data and a good knowledge of the sites (local expertise) improve the quality of the results.
- Better results are obtained in situations for which the models have been more specifically designed :
  - « classical » street canyons (rue de Strasbourg)
  - open streets for SIRANE and ADMS-Urban (ex : open side of Quai de la Fosse).
- NO<sub>x</sub>: results are more scattered than for NO<sub>2</sub>.
- PM<sub>10</sub>: underestimation that could be partly explained by larger uncertainty on the emissions.
- In most cases, the relative difference between the modelled and measured annual means is in compliance with the regulatory quality objectives (<30% for NO<sub>2</sub> ; <50% for PM<sub>10</sub>).
- The analytical nature of the models is still a limit for precise simulation at a small time step. However, hourly variations of concentrations appear to be better reproduced when background pollution has significant influence on the model results and the hourly variations of the atmospheric stability are taken into account.

# Future works

- Completion of the tests concerning the streets of Poitiers
- Enrichment of the website :
  - Input data sets and numerical results
  - Bibliographical review
  - Summary
- Exchange meeting with the French local agencies responsible for air quality monitoring.



# Acknowledgements

- This study was funded by the French Ministry in charge of the Ecology and Sustainable Development.
- The data from the field measurement campaigns carried out in Nantes and Poitiers were provided by AIR Pays de la Loire and ATMO Poitou-Charentes respectively.