

Projet de recherche « INOGEV »

Innovations pour une gestion durable de l'eau en ville

Connaissance et maîtrise de la contamination des eaux pluviales urbaines



Dépôt des polluants en milieu urbain sous forme particulière par temps de pluie

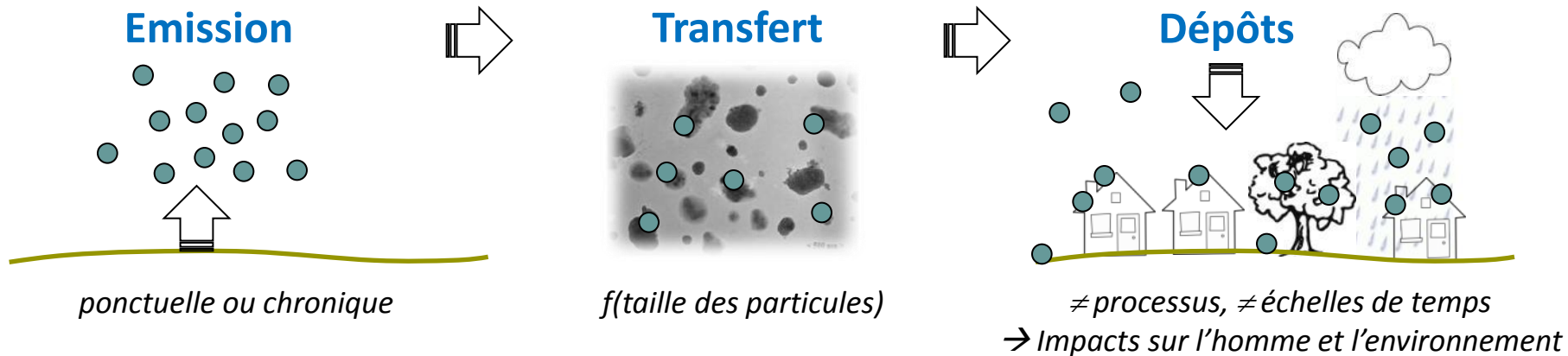
P. LAGUIONIE, Y. ROUSTAN, D. MARO, C. SEIGNEUR, N. DUHANIAN, P. ROUPSARD, S. PERCOT, D. HEBERT, B. LETELLIER, V. RUBAN, M. MORILLON

Nantes, 3-5 décembre 2013

Introduction



- Dynamique des polluants atmosphériques

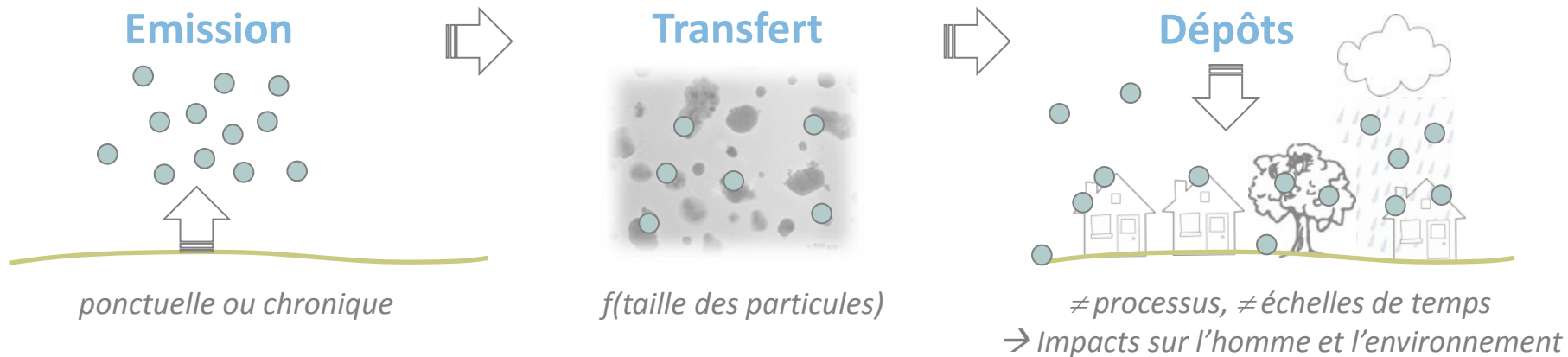


- Contexte
 - Prédiction du dépôt des particules atmosphériques à \neq échelles de temps
 - Connaissance des paramètres à prendre en compte dans les modèles
- Questions
 - Flux de dépôt par temps de pluie des ETM et HAP (approche intégrée) ?
 - Coefficient de rabattement des particules atmosphériques (approche dynamique) ?
 - Contributions relatives des \neq processus de dépôt (washout, rainout, dépôt sec) ?
- Pourquoi
 - Données in situ éparsees
 - Mesures vs. résultats des modèles : écarts jusqu'à plusieurs ordres de grandeur
 - Environnement urbain = forte densité de population mais connaissances limitées

Introduction



- Dynamique des polluants atmosphériques

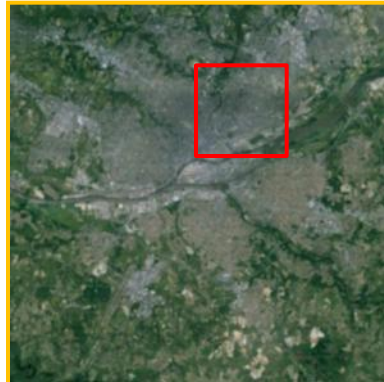


- Contexte | Prédiction du dépôt des particules atmosphériques à \neq échelles de temps
Connaissance des paramètres à prendre en compte dans les modèles
- Questions | **Flux de dépôt par temps de pluie des ETM et HAP (approche intégrée) ?**
Coefficient de rabatement des particules atmosphériques (approche dynamique) ?
Contributions relatives des \neq processus de dépôt (washout, rainout, dépôt sec) ?
- Pourquoi | Données in situ éparsees
Mesures vs. résultats des modèles : écarts jusqu'à plusieurs ordres de grandeur
Environnement urbain = forte densité de population mais connaissances limitées

Flux de dépôt humide des ETM et HAP ^(1/4)



- Bassin versant du Pin Sec, Nantes
- Période : septembre 2010 → octobre 2011
- Collecte mensuelle des eaux de pluie par un pluviomètre découvrant
- Protocoles d'analyses (cf. thèse Percot, 2012)
 - 6 Eléments Traces Métalliques (ETM)
 - 9 HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques)



Flux de dépôt humide des ETM et HAP (2/4)

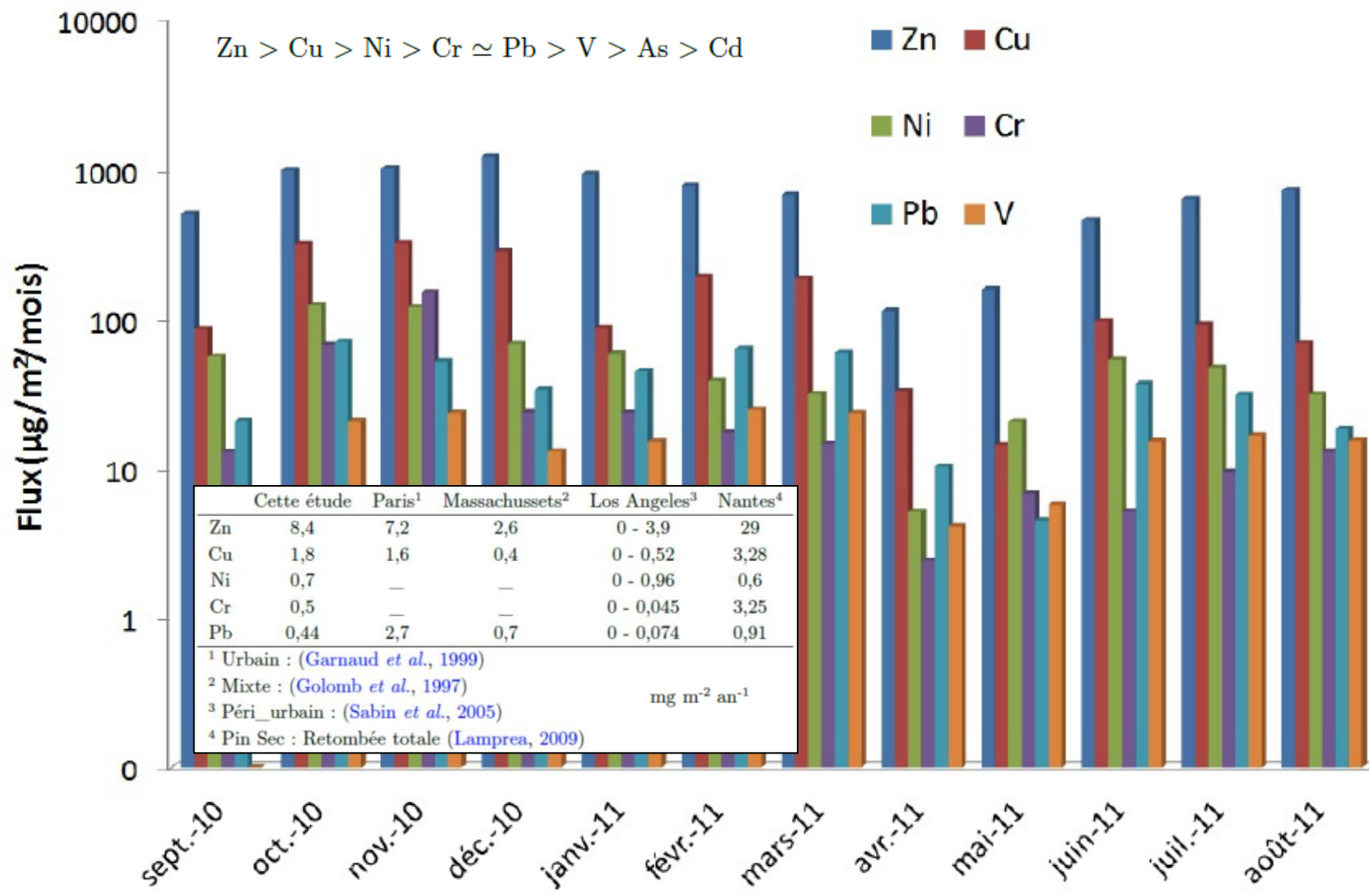


- Pluviométrie moyenne annuelle représentative des 30 dernières années
- Eléments Traces Métalliques (ETM) – 12 mois
 - Faibles concentrations
 - Abondance relative \neq de celle observée dans le cas du dépôt sec
 - $Zn > Cu > Ni > Cr \simeq Pb > V > As > Cd$
- HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) – 3 mois
 - Faibles concentrations, souvent $< LD$
 - Concentrations les + élevées mesurées en juillet (période hivernale attendue)

Flux de dépôt humide des ETM et HAP (3/4)



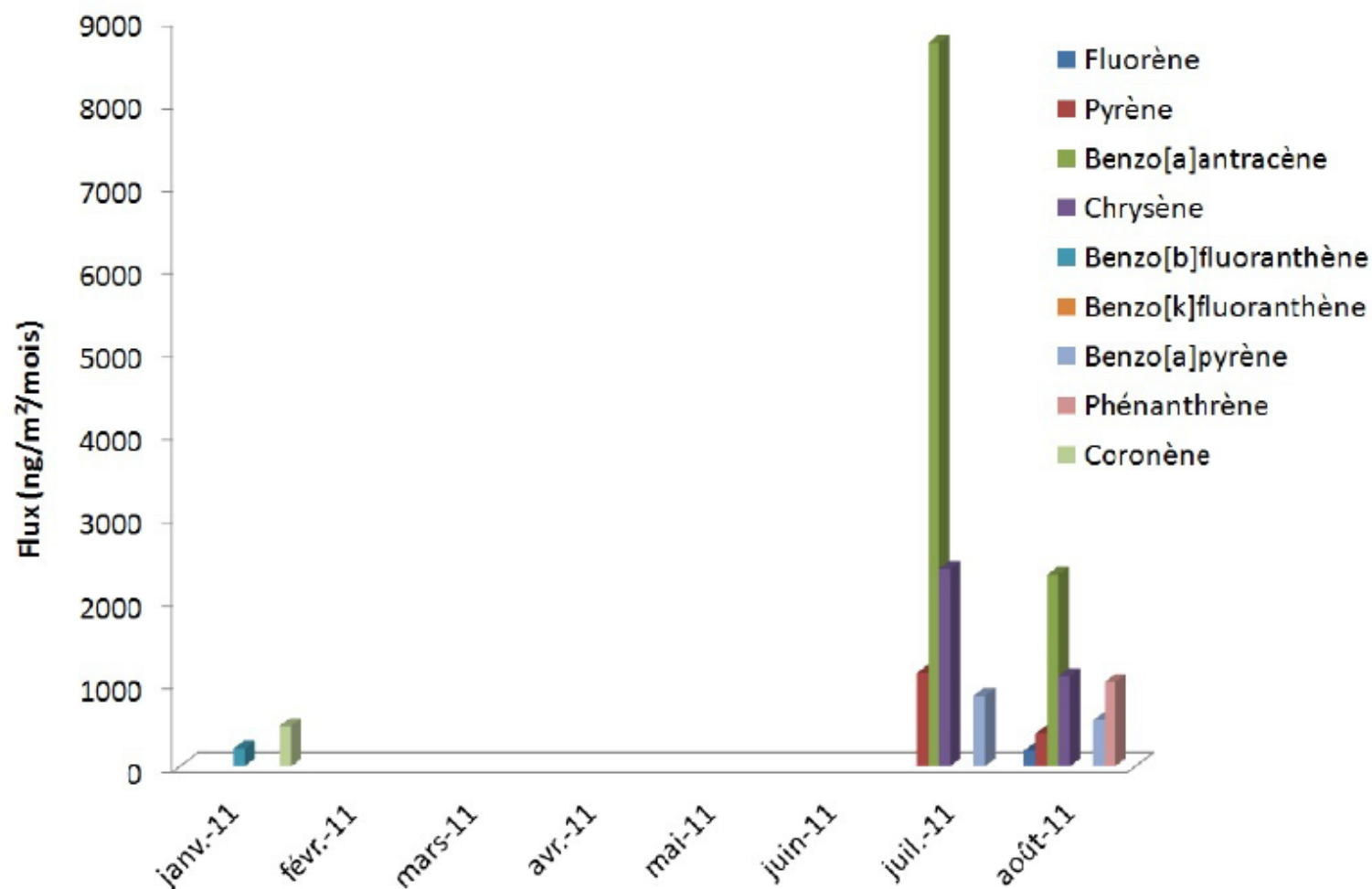
• Éléments Traces Métalliques (ETM)



Flux de dépôt humide des ETM et HAP (4/4)



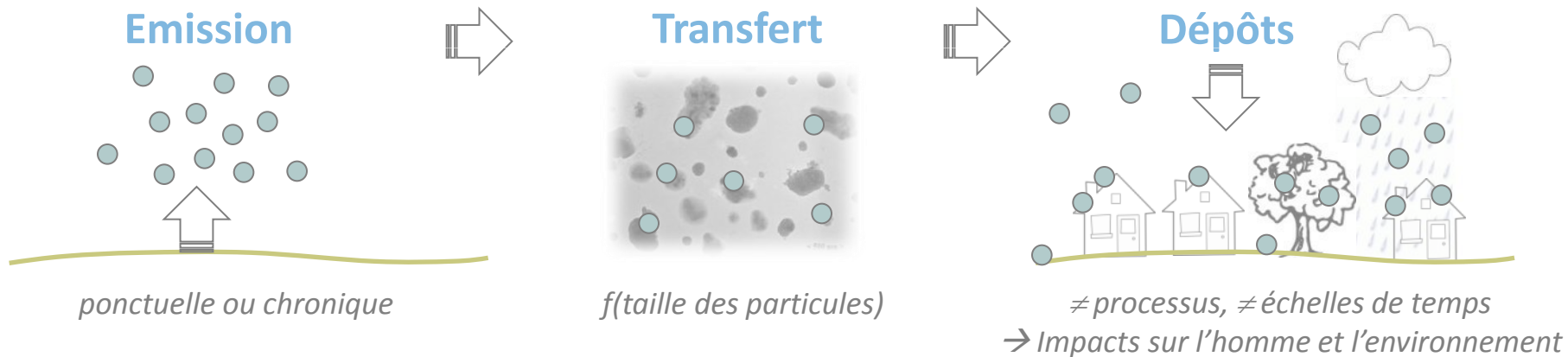
- HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques)



Introduction



- Dynamique des polluants atmosphériques

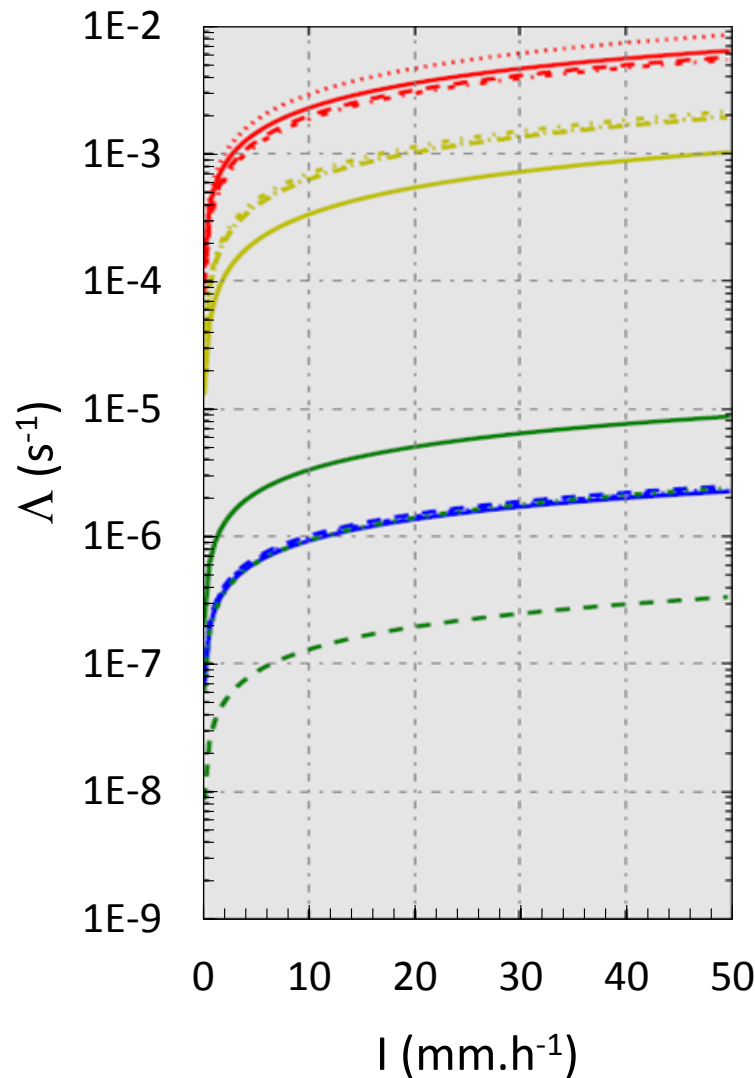


- Contexte | Prédiction du dépôt des particules atmosphériques à \neq échelles de temps
Connaissance des paramètres à prendre en compte dans les modèles
- Questions | Flux de dépôt par temps de pluie des ETM et HAP (approche intégrée) ?
Coefficient de rabatement des particules atmosphériques (approche dynamique) ?
Contributions relatives des \neq processus de dépôt (washout, rainout, dépôt sec) ?
- Pourquoi | Données in situ éparsees
Mesures vs. résultats des modèles : écarts jusqu'à plusieurs ordres de grandeur
Environnement urbain = forte densité de population mais connaissances limitées

Coefficient de rabatement ^(1/5)



• Constat



$$\frac{dc}{dt} = -\Lambda c$$

- Urban (our computations)
- - Rural (our computations)
- ... Marine (our computations)
- RC (our computations)
- Raes (our computations)
- - Covert (our computations)
- ... Weingartner (our computations)
- Andronache (2003), *Urban*
- - Andronache (2003), *Rural*
- ... Andronache (2003), *Marine*
- Andronache (2003), *RC*
- Andronache (2003), *Raes*
- - Andronache (2003), *Covert*
- ... Andronache (2003), *Weingartner*

Below-cloud scavenging by rain of atmospheric gases and particulates

Nora Duhanyan*, Yelva Rouston

Atmospheric Environment 45 (2011) 7201–7217

Coefficient de rabattement (2/5)



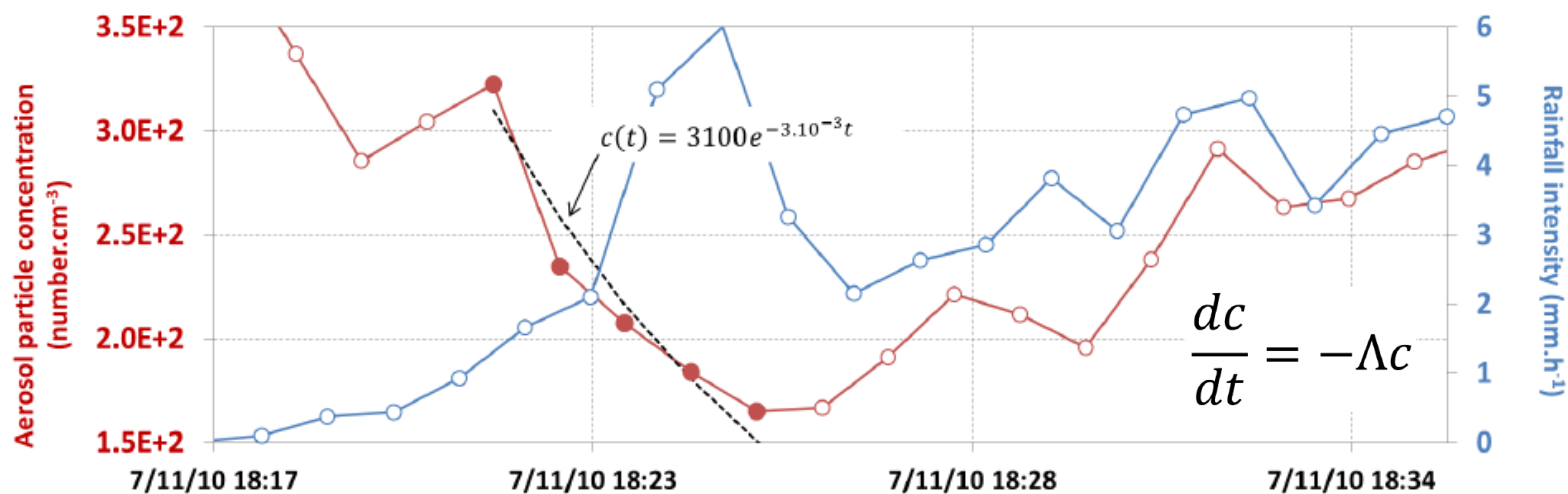
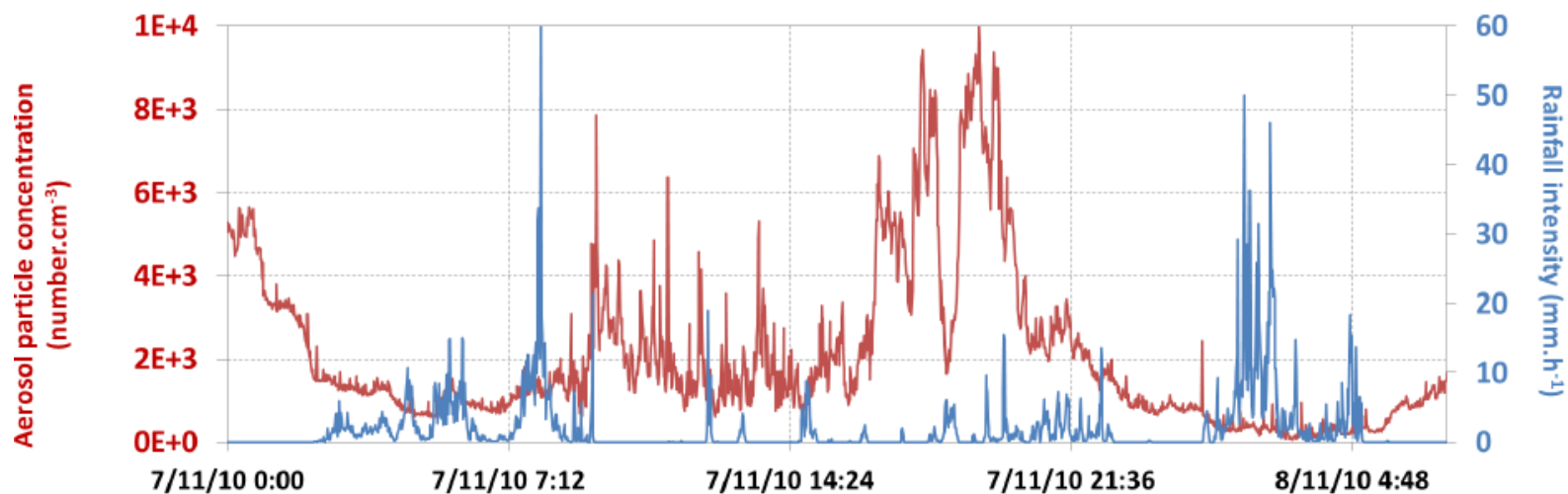
- Objectif : $\Lambda = f(\phi; \Lambda)$ à partir de mesures in situ
- Station fixe, LRC, Cherbourg-Octeville
- Période : novembre 2010 → février 2011
- Mesures synchrones : $I, C = f(\phi)$ et micrométéorologie
- 98 classes granulométriques (14,6 – 478,3 nm)
- Pas de temps : 1 minute



Coefficient de rabatement (3/5)



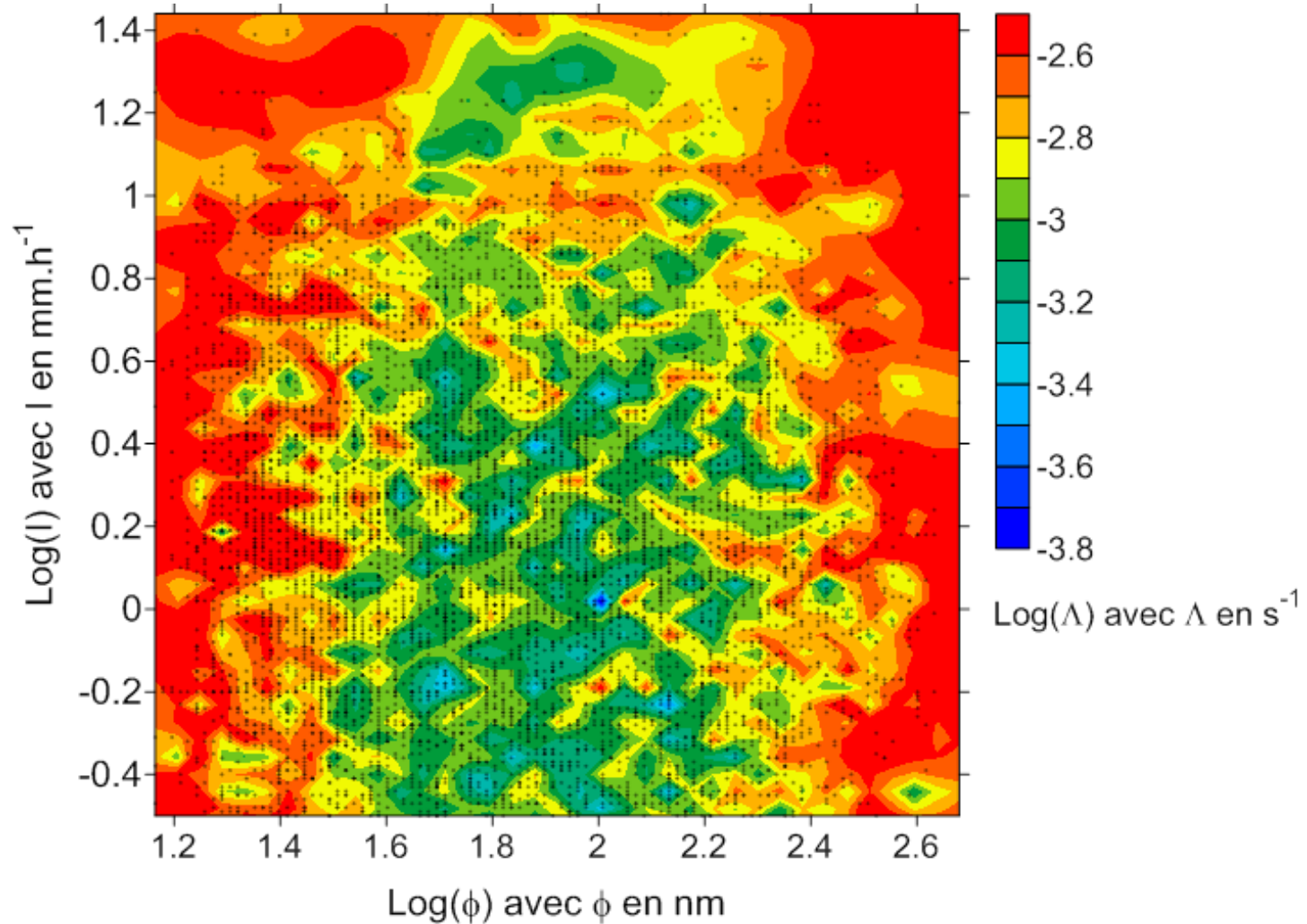
- Post-traitement des données



Coefficient de rabatement (4/5)



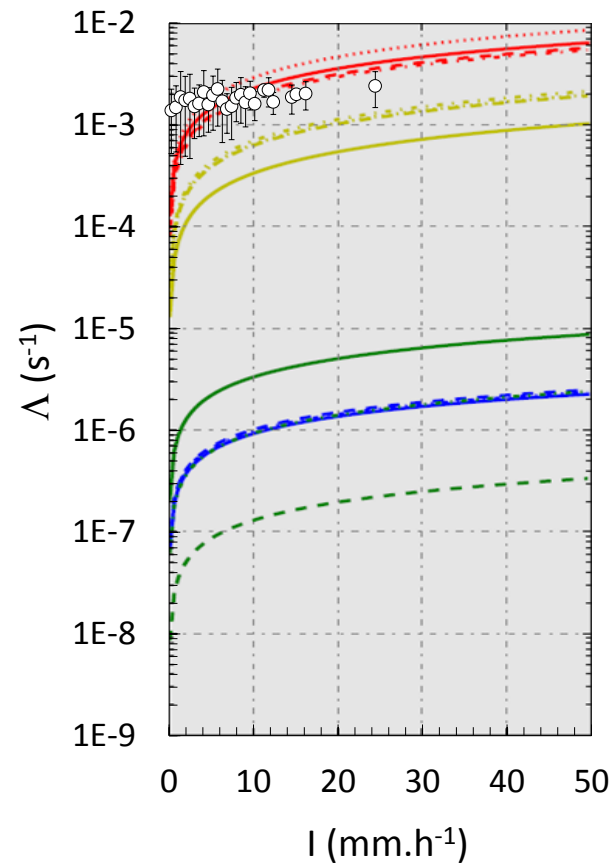
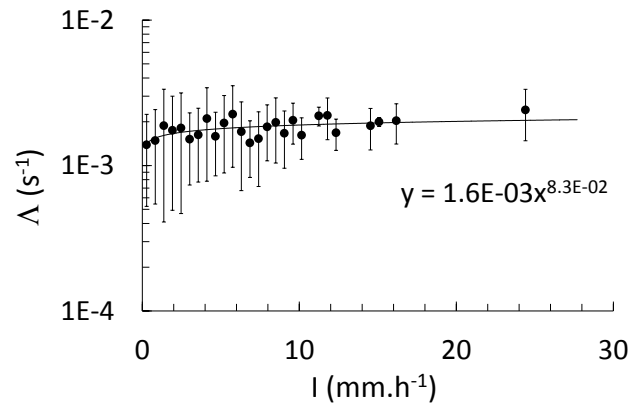
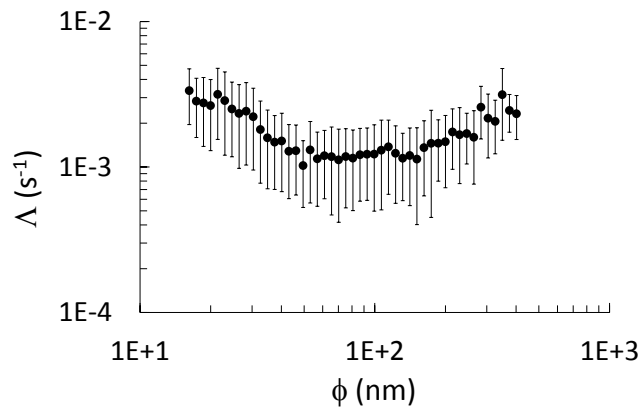
- Pluie : 22 % du temps $\rightarrow 8\,650\, \Lambda = f(\phi; \Lambda)$



Coefficient de rabatement (5/5)



- Données représentatives d'un cycle urbain de 24 heures
- I jusqu'à 30 mm.h^{-1}

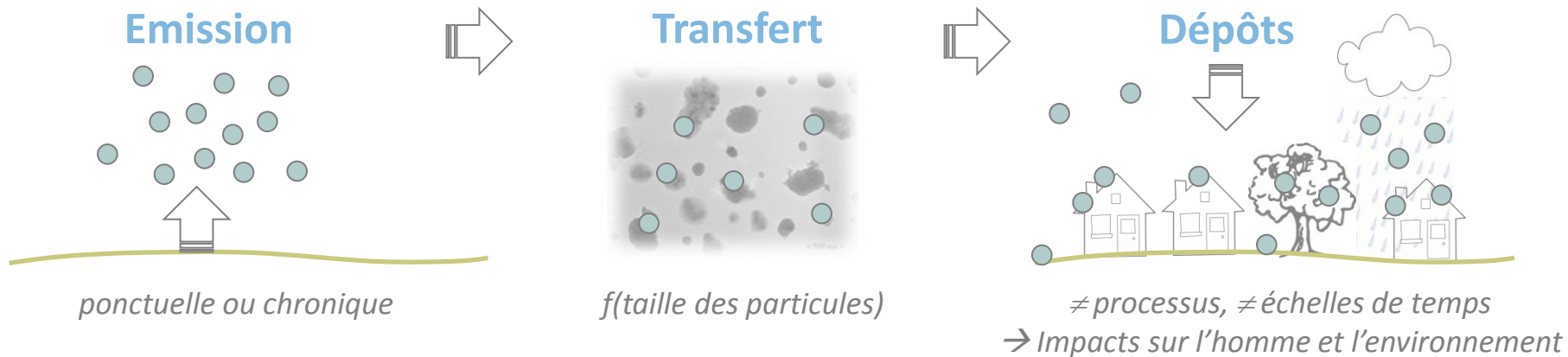


- $\Lambda = 3 \times 10^{-4} I^{0,4} \text{ (} 0,58 \mu\text{m} < \phi < 1,20 \mu\text{m)}$

Introduction



- Dynamique des polluants atmosphériques



- Contexte | Prédiction du dépôt des particules atmosphériques à \neq échelles de temps
Connaissance des paramètres à prendre en compte dans les modèles
- Questions | Flux de dépôt par temps de pluie des ETM et HAP (approche intégrée) ?
Coefficient de rabatement des particules atmosphériques (approche dynamique) ?
Contributions relatives des \neq processus de dépôt (washout, rainout, dépôt sec) ?
- Pourquoi | Données in situ éparsees
Mesures vs. résultats des modèles : écarts jusqu'à plusieurs ordres de grandeur
Environnement urbain = forte densité de population mais connaissances limitées

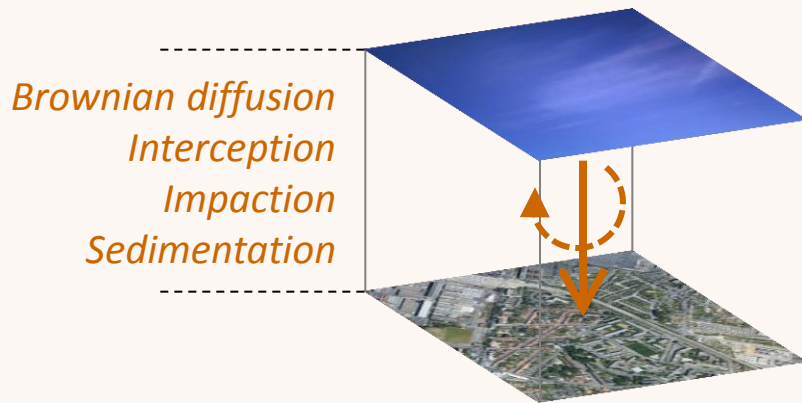
Contributions relatives des dépôts (1/11)



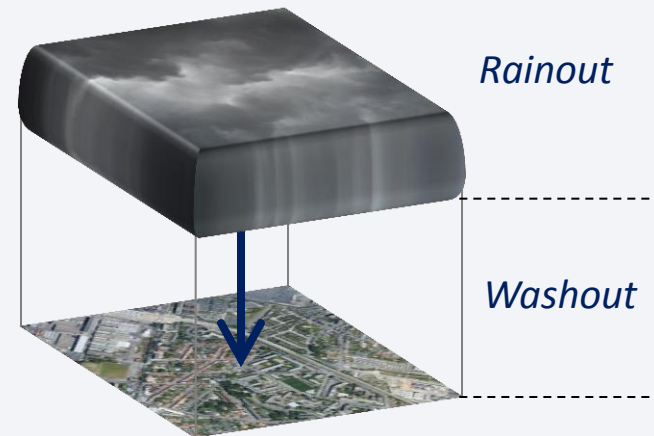
Dépôt total



Dépôt sec



Dépôt humide total



① *Détermination in situ*

F_{dry}

+

F_{wet}

② *Modélisation semi-empirique*

$F_{rainout} + F_{washout}$

Contributions relatives des dépôts (1/11)

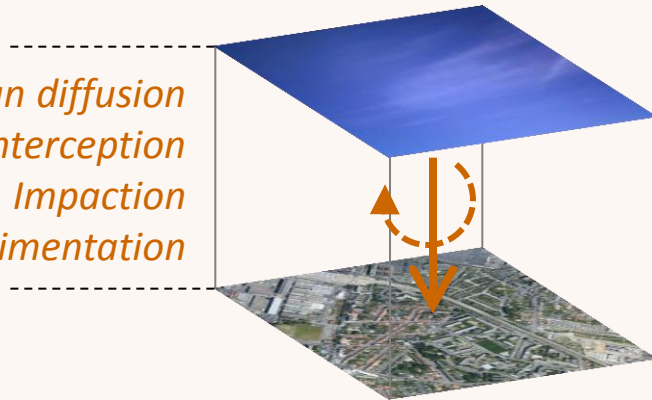


Dépôt total



Dépôt sec

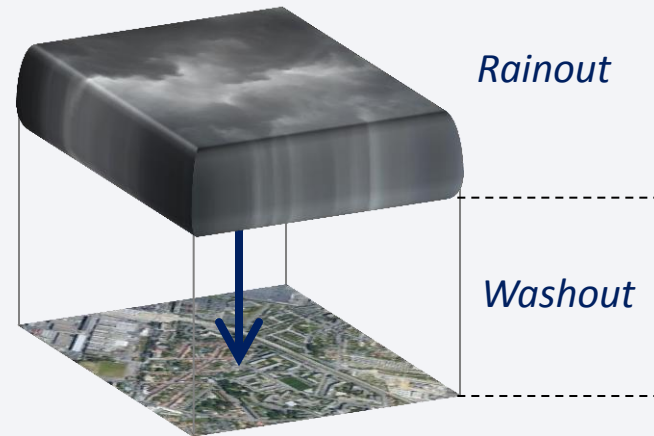
Brownian diffusion
Interception
Impaction
Sedimentation



Dépôt humide total

Rainout

Washout



① *Détermination in situ*

F_{dry}

+

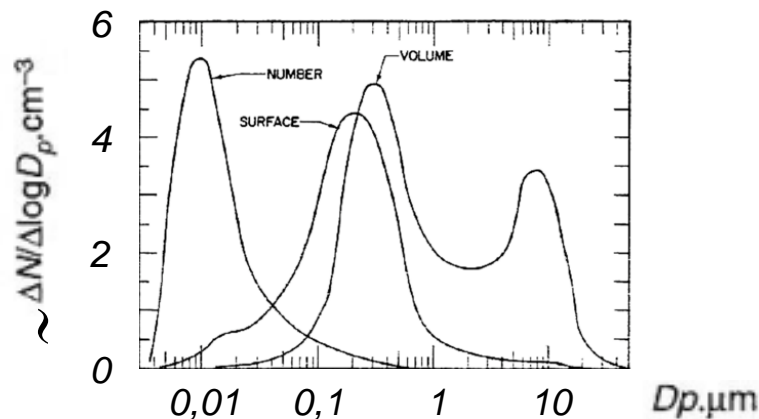
F_{wet}



$F_{rainout} + F_{washout}$

Contributions relatives des dépôts (2/11)

- Objectif : mesure des flux de dépôt sec et humide total
- Station fixe, IFSTTAR, Nantes
- Période : septembre 2010 → novembre 2011
- Intégration mensuelle des processus
- Utilisation de 2 traceurs radioactifs
 - ^7Be ($T_{1/2} = 53,3$ days) – origine cosmique
 - ^{210}Pb ($T_{1/2} = 22,3$ years) – origine terrestre
 - Représentatifs du mode d'accumulation ($0,1 < \phi < 2,5 \mu\text{m}$)



Contributions relatives des dépôts (3/11)



- Dépôt humide total : collecteur de pluie au sol



Pluviomètre
découvrant relié
à un détecteur
de pluie

Contributions relatives des dépôts (3/11)



- Dépôt sec sur une surface urbaine hétérogène

$$7 \text{ types de substrat testés } \rightarrow V_{\text{substrate}} = \frac{F_{\text{dry, substrate}}}{C_{\text{atmo}}}$$

$$V_{d, \text{urban basin}} = \sum_{\text{substrate}} \left(V_{d, \text{substrate}} \frac{S_{\text{substrate}}}{S_{\text{urban basin}}} \right)$$

$$F_{\text{dry, urban basin}} = C_{\text{atmo}} V_{d, \text{urban basin}}$$

Local



Bassin versant urbain



Préleveur de
particules
atmosphériques
 $\rightarrow C_{\text{atmo}}$

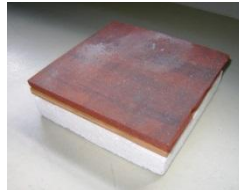
Store mécanique relié à
un détecteur de pluie

Contributions relatives des dépôts (3/11)

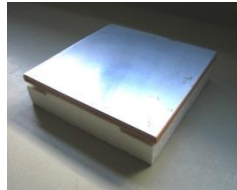


- Dépôt sec sur des surfaces homogènes

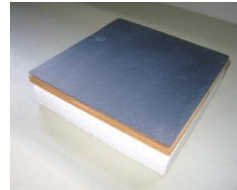
Surfaces
inclinées à
30°



Tuile



Zinc



Ardoise

Surfaces
verticales

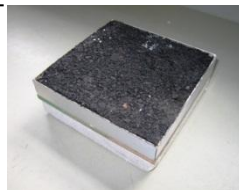


Enduit



Verre

Surfaces
horizontales



Asphalte



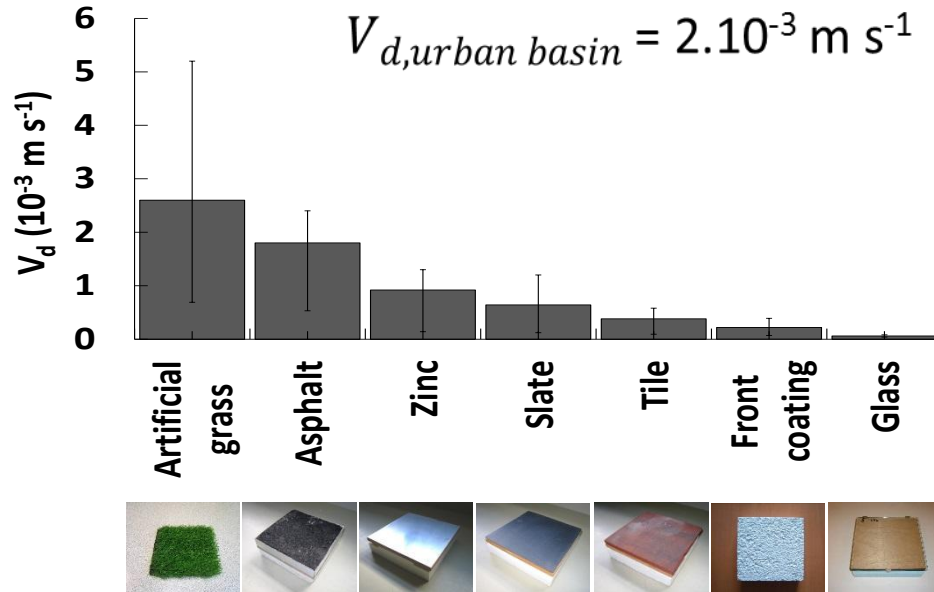
Herbe



Préleveur de
particules
atmosphériques
→ C_{atmo}

Store mécanique relié à
un détecteur de pluie

Contributions relatives des dépôts (4/11)



Herbe	40,3 %
Asphalte	24,8 %
Zinc	0,3 %
Ardoise	3,2 %
Tuile	5,3 %
Enduit	21,9 %
Verre	4,2 %



Contributions relatives des dépôts (5/11)



- $\bar{R} = 48 [12 - 105] \text{ mm}$

- ^7Be – origine cosmique

$$\overline{F_{wet}} = 34 [6 - 71] 10^{-6} \text{ Bq.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$$

$$\overline{F_{dry}} = 7 [2 - 11] 10^{-6} \text{ Bq.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$$

$$\overline{\%F_{wet}} = 79 [65 - 91] \%$$

$$\overline{\%F_{dry}} = 21 [9 - 35] \%$$

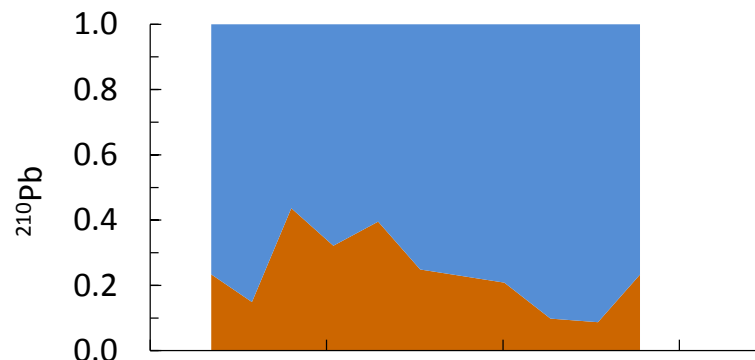
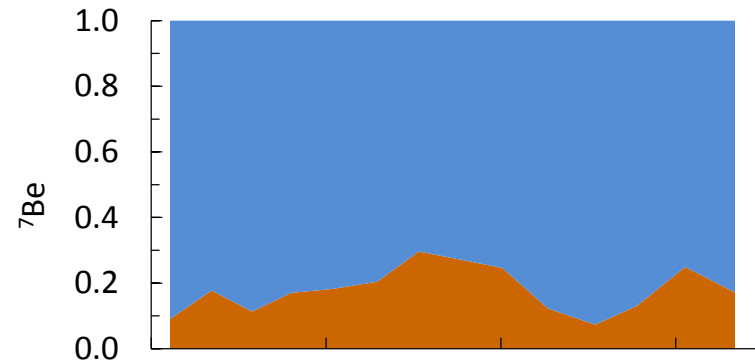
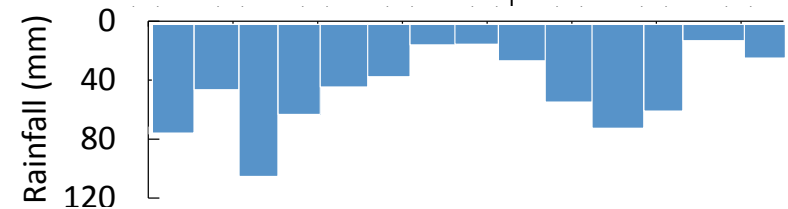
- ^{210}Pb – origine terrestre

$$\overline{F_{wet}} = 2,0 [0,9 - 4,9] 10^{-6} \text{ Bq.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$$

$$\overline{F_{dry}} = 0,6 [0,5 - 0,9] 10^{-6} \text{ Bq.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$$

$$\overline{\%F_{wet}} = 72 [50 - 89] \%$$

$$\overline{\%F_{dry}} = 28 [11 - 50] \%$$



Sep 9, 10 Jan 17, 11 May 27, 11 Oct 4, 11

Date

■ Sec ■ Humide total

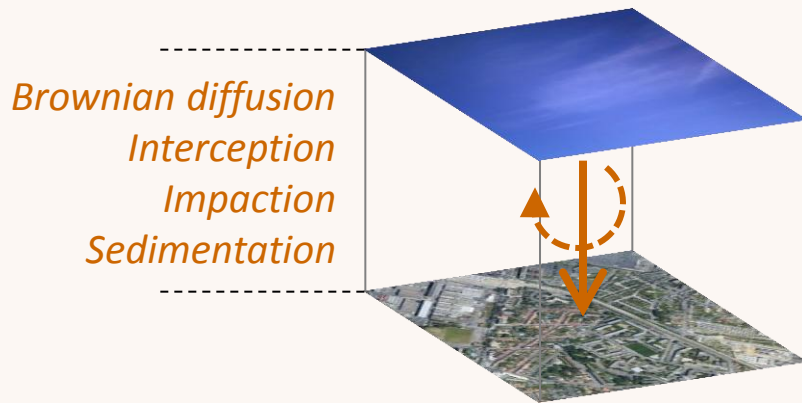
Contributions relatives des dépôts (6/11)



Dépôt total



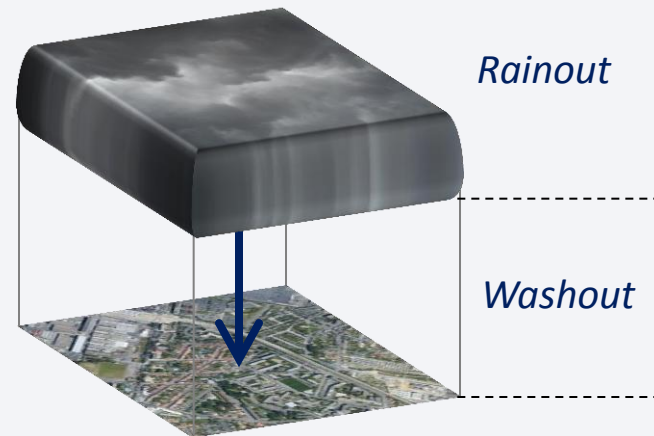
Dépôt sec



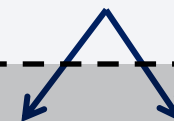
F_{dry}

+

Dépôt humide total



F_{wet}



$F_{rainout} + F_{washout}$

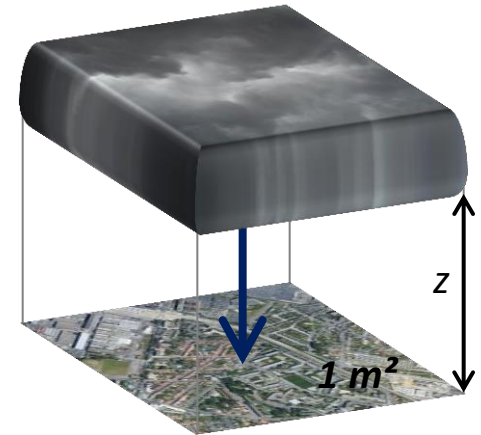
② Modélisation semi-empirique

Contributions relatives des dépôts (7/11)



- Période : T (typiquement 1 mois)
- Colonne d'air de hauteur z et section horizontale 1 m^2
- Dans l'eau de pluie collectée au sol :

$$\left| \begin{array}{l} A_{wet} = A_{rainout} + A_{washout} \\ A_{washout} = \sum_{k=1}^N \Psi_k \quad \text{with} \quad N = \frac{T}{\Delta t} \end{array} \right.$$



- $I \neq 0 \rightarrow \Psi_k$: perte d'activité dans la colonne d'air pendant $\Delta t = f(z, C_{atmo}, \Lambda)$
- $I = 0 \rightarrow$ taux de recharge de l'atmosphère
- Calage du modèle : $\overline{C_{atmo}}$ modélisé = $\overline{C_{atmo}}$ mesuré

↪ $A_{washout}$ et $A_{rainout}$ par déduction

Contributions relatives des dépôts (8/11)



- $\bar{R} = 48 [12 - 105] \text{ mm}$

- ^7Be – origine cosmique

$$\overline{F_{rain}} = 30 [4 - 64] 10^{-6} \text{ Bq.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$$

$$\overline{F_{wash}} = 4 [1 - 9] 10^{-6} \text{ Bq.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$$

$$\overline{\%F_{rain}} = 85 [72 - 97] \%$$

$$\overline{\%F_{wash}} = 15 [3 - 28] \%$$

- ^{210}Pb – origine terrestre

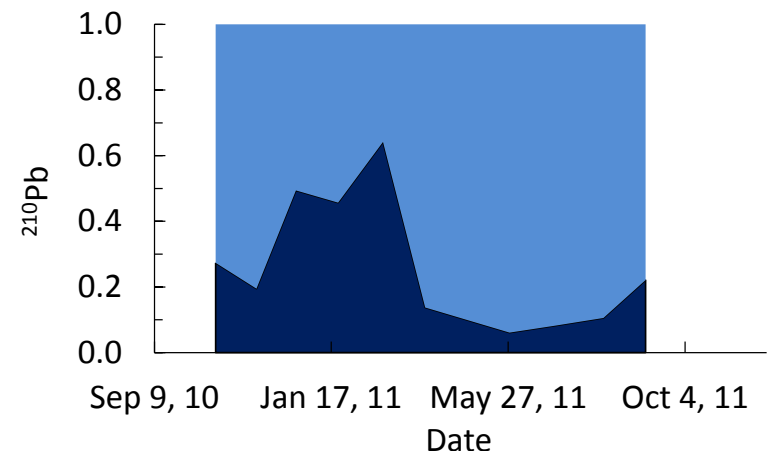
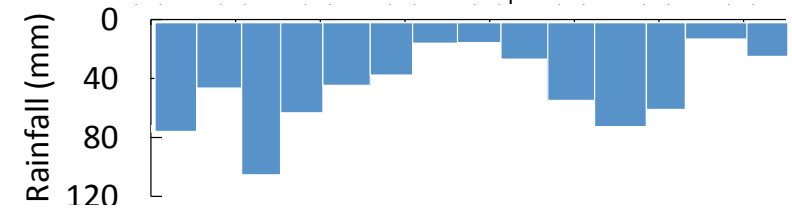
$$\overline{F_{rain}} = 1,6 [0,3 - 4,4] 10^{-6} \text{ Bq.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$$

$$\overline{F_{wash}} = 0,4 [0,1 - 0,6] 10^{-6} \text{ Bq.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$$

$$\overline{\%F_{rain}} = 73 [36 - 94] \%$$

$$\overline{\%F_{wash}} = 27 [6 - 64] \%$$

■ Washout ■ Rainout



Contributions relatives des dépôts (9/11)



- Rainout et variations saisonnières

- ^7Be – origine cosmique

Avril – Oct. : $R^2 = 0,97$

Nov. – Mars : $R^2 = 0,94$

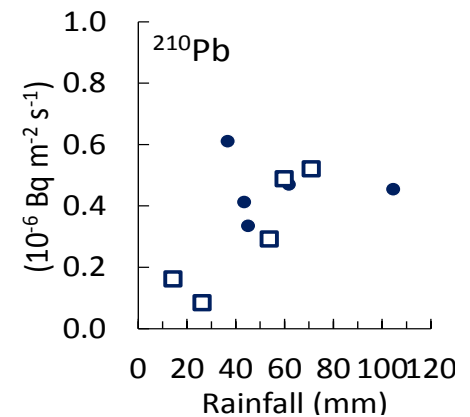
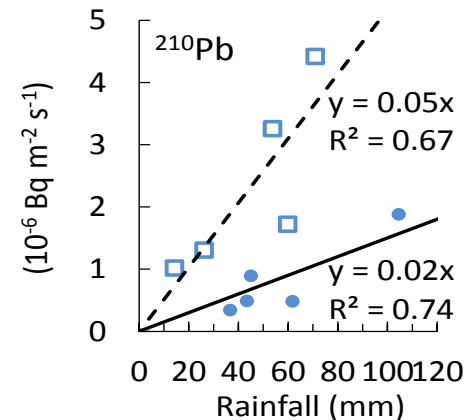
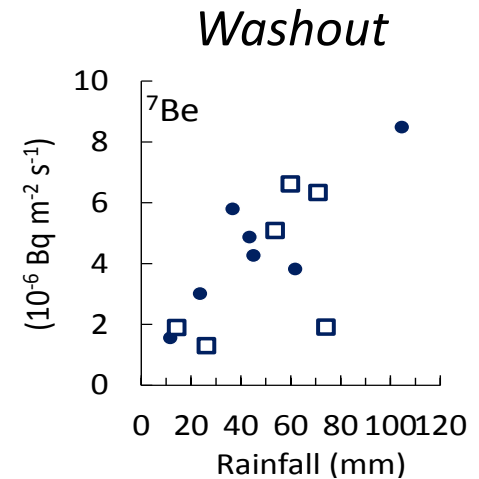
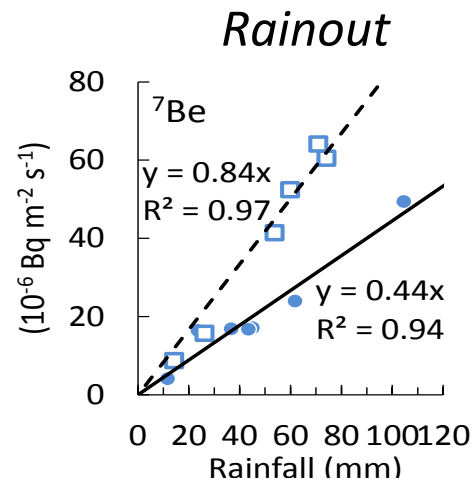
Echanges troposphère-stratosphère

- ^{210}Pb – origine terrestre

Avril – Oct. : $R^2 = 0,67$

Nov. – Mar. : $R^2 = 0,74$

Direction principale du vent



□ Avril-Octobre ● Novembre-Mars

Contributions relatives des dépôts (10/11)



- $\bar{R} = 48 [12 - 105] \text{ mm}$

- ^7Be – origine cosmique

$$\overline{\%F_{rain}} = 67 [60 - 86] \%$$

$$\overline{\%F_{wash}} = 12 [3 - 19] \%$$

$$\overline{\%F_{dry}} = 21 [9 - 35] \%$$

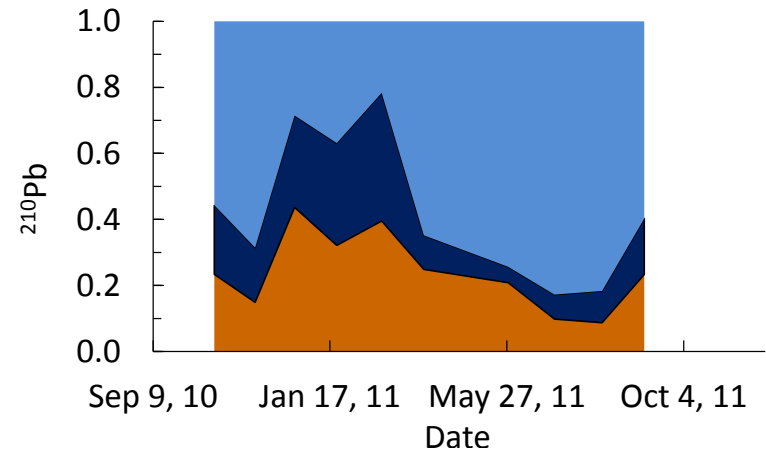
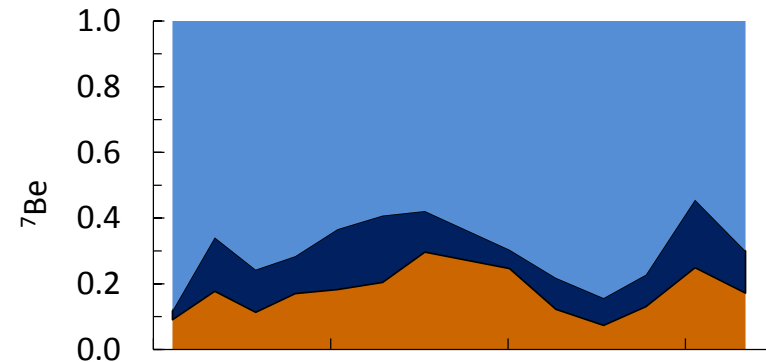
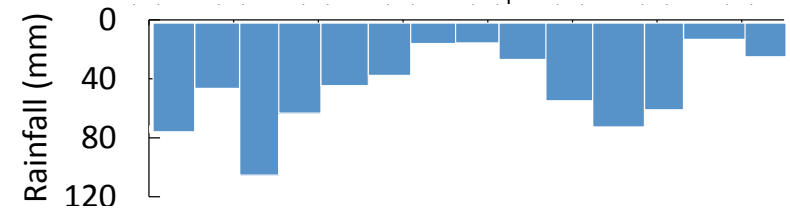
- ^{210}Pb – origine terrestre

$$\overline{\%F_{rain}} = 55 [20 - 81] \%$$

$$\overline{\%F_{wash}} = 17 [5 - 35] \%$$

$$\overline{\%F_{dry}} = 28 [11 - 50] \%$$

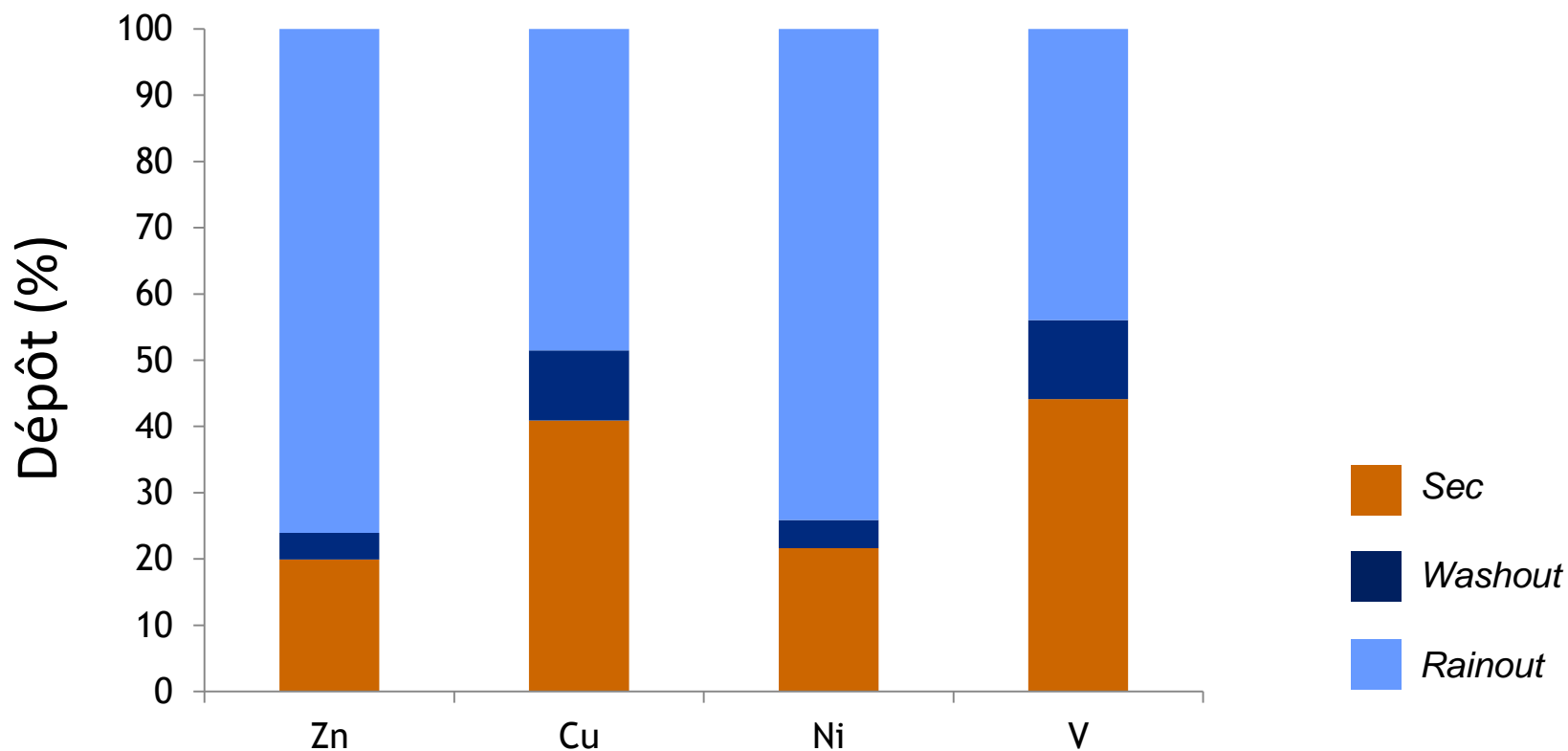
■ Sec
 ■ Washout
 ■ Rainout



Contributions relatives des dépôts (11/11)



- Application aux ETM (moyennes annuelles)



Conclusion



- Flux de dépôt par temps de pluie des ETM et HAP ?

- $Zn > Cu > Ni > Cr \simeq Pb > V > As > Cd$
- Abondances relatives \neq cas du dépôt sec
- HAP : base de données initiée
- Pesticides : jamais détectés

	mg m ⁻² an ⁻¹
Zn	8,4
Cu	1,8
Ni	0,7
Cr	0,5
Pb	0,44

- Coefficient de rabattement des particules atmosphériques ?

- $\Lambda = 3 \times 10^{-4} I^{0,4} \quad (0,58 < \phi < 1,20 \mu m)$
- $\Lambda = 1.6 \times 10^{-3} \phi^{0,083} \quad (0 < I < 30 \text{ mm.h}^{-1})$
- Explication physique des écarts modèles-mesures : question ouverte

- Contributions relatives des \neq processus de dépôt (washout, rainout, dépôt sec) ?

- Vitesse de dépôt sec : $V_{d,urban\ basin} = 2.10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$
- Flux de dépôt sec : 21 % (Zn) – 44 % (V)
- Flux de dépôt humide par rainout : 44 % (V) – 75 % (Zn)
- Flux de dépôt humide par washout : 4 % (Zn) – 12 % (V)

Publications



Duhanyan N., Roustan Y. (2011). *Below-cloud scavenging by rain of atmospheric gases and particulates. Atmospheric Environment*, 45(39), 7201-7217.

Laguionie P., Maro D., Letellier B., Le Cavelier S. (2011). *Rain scavenging of below-cloud aerosol particles: field measurements using Electrical Low Pressure Impactor and Scanning Mobility Particle Sizer coupled with Aerodynamic Particle Sizer. Int. Conf. EAC, Manchester, 4-9 septembre.*

Laguionie P., Maro D., Morillon M., Hébert D. (en préparation). *Local scavenging of atmospheric aerosol particles by rain droplets in an urban environment: a direct comparison between experiment and model predictions.*

Laguionie P., Maro D., Roupsard P., Percot S., Solier L., Ruban V., Rozet M., Hébert D., Connan O. (2013). *New methods to quantify the contributions of rainout, washout and dry deposition to the total deposition flux of atmospheric aerosol on urban surfaces. Int. Conf. EAC, Prague, 1-6 septembre.*

Laguionie P., Maro D., Roupsard P., Solier L., Rozet M., Hébert D. (en préparation). *Atmospheric fluxes of ^7Be and ^{210}Pb on monthly time-scales: rainout, washout and dry deposition contributions.*

Percot S. (2012). *Contribution des retombées atmosphériques aux flux de polluants issus d'un petit bassin versant urbain: Cas du Pin Sec à Nantes. Thèse de l'Ecole Centrale de Nantes, pp. 252.*

Percot S., Ruban V., Laguionie P., Maro D., Roupsard P., Demare D. (2013). *Rainout, washout and dry deposition contributions to the total seposition flux of heavy metal aerosol onto surfaces of a small urban catchment (Pin Sec, Nantes). Int. Conf. AAAR, Portland, 30 septembre-4 octobre.*

Roupsard P. (2013). *Etude phénoménologique du dépôt sec d'aérosols en milieu urbain : influence des propriétés des surfaces, de la turbulence et des conditions météorologiques. Thèse de l'Institut National des Sciences Appliquées de Rouen, pp. 226.*

Roupsard P., Amielh A., Coppalle A., Branger H., Laguionie P., Connan O., Hébert D., Maro D., Talbaut M. (2011a). *Etude du dépôt sec d'aérosols submicroniques sur des surfaces urbaines en veine aéraulique. CFA, Paris, 25-26 janvier.*

Roupsard P., Amielh A., Coppalle A., Branger H., Laguionie P., Connan O., Hébert D., Maro D., Talbaut M. (2011b). *Submicronic aerosols dry deposition on urban surfaces: a wind tunnel study to improve the lack of knowledge. Int. Conf. EAC, Manchester, 4-9 septembre.*

Roupsard P., Amielh M., Maro D., Copalle A., Branger H., Connan O., Laguionie P., Hébert D., Talbaut M. (2013). *Measurement in a wind tunnel of dry deposition velocities of submicron aerosol with associated turbulence onto rough and smooth urban surfaces. Journal of Aerosol Science*, 55, 12-24.

Roupsard P., Laguionie P., Maro D., Solier L., Coppalle A., Ruban V., Percot S., Talbaut M., Rozet M. (en preparation). *Dry deposition velocity of atmospheric particles onto urban surfaces from ^7Be tracer.*