

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 leur dépôts sur les surfaces : Synthèse et perspectives

C. Seigneur, N. Cherin, D. Hebert, P. Lagiunione, B. Letellier,
D. Maro, S. Percot, P. Roupsard, Y. Roustan, V. Ruban

Les dépôts atmosphériques



- **Les dépôts atmosphériques**
 - Ils contribuent à la contamination des eaux de ruissellement
- **Les dépôts humides**
 - Ils dépendent de l'intensité de la précipitation et du polluant (solubilité dans l'eau, taille des particules)
 - Ils sont facilement mesurables
- **Les dépôts secs**
 - Ils dépendent des conditions atmosphériques (turbulence), de la surface (type et configuration) et du polluant (solubilité, réactivité, taille des particules...)
 - Ils sont difficiles à mesurer

Inogev : mesures et modélisation



- **Les mesures**

- En laboratoire
- In situ

- **La modélisation**

- Modèle classique (mais mal adapté au milieu urbain)
- Modèle amélioré pour l'environnement urbain dans le cadre d'INOGEV

Mesures et modélisation : une itération

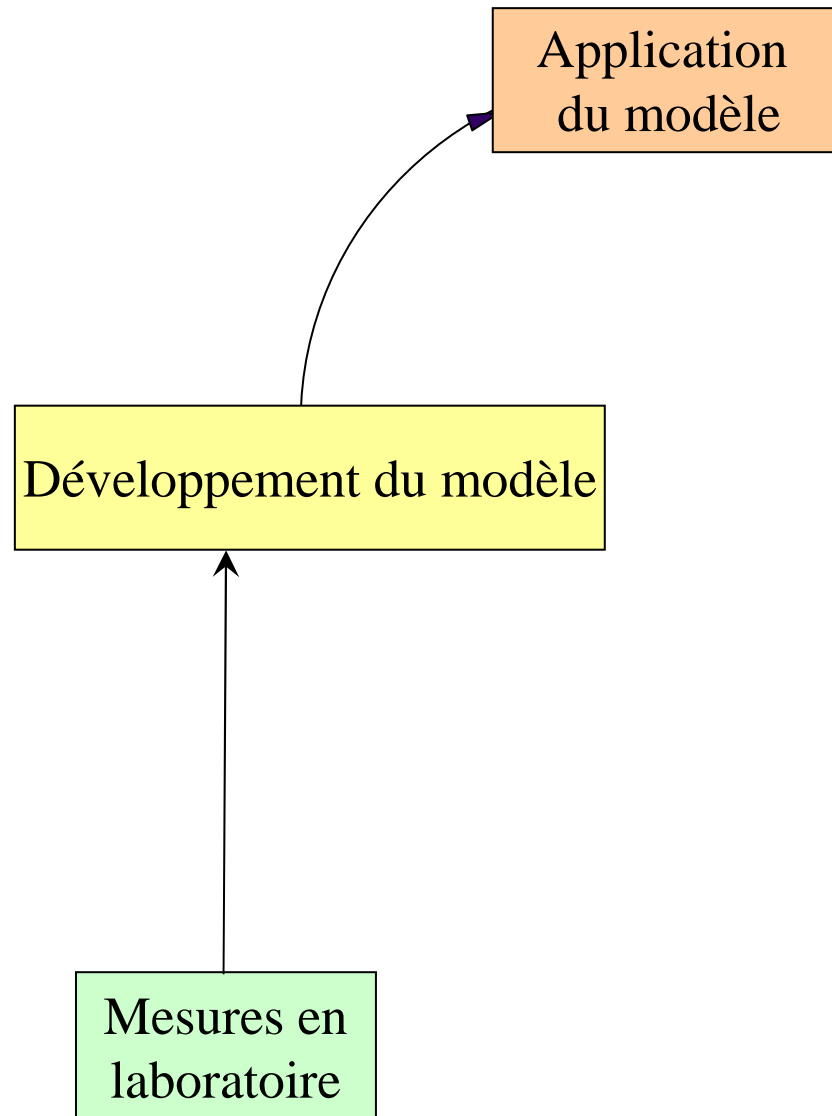


Développement du modèle

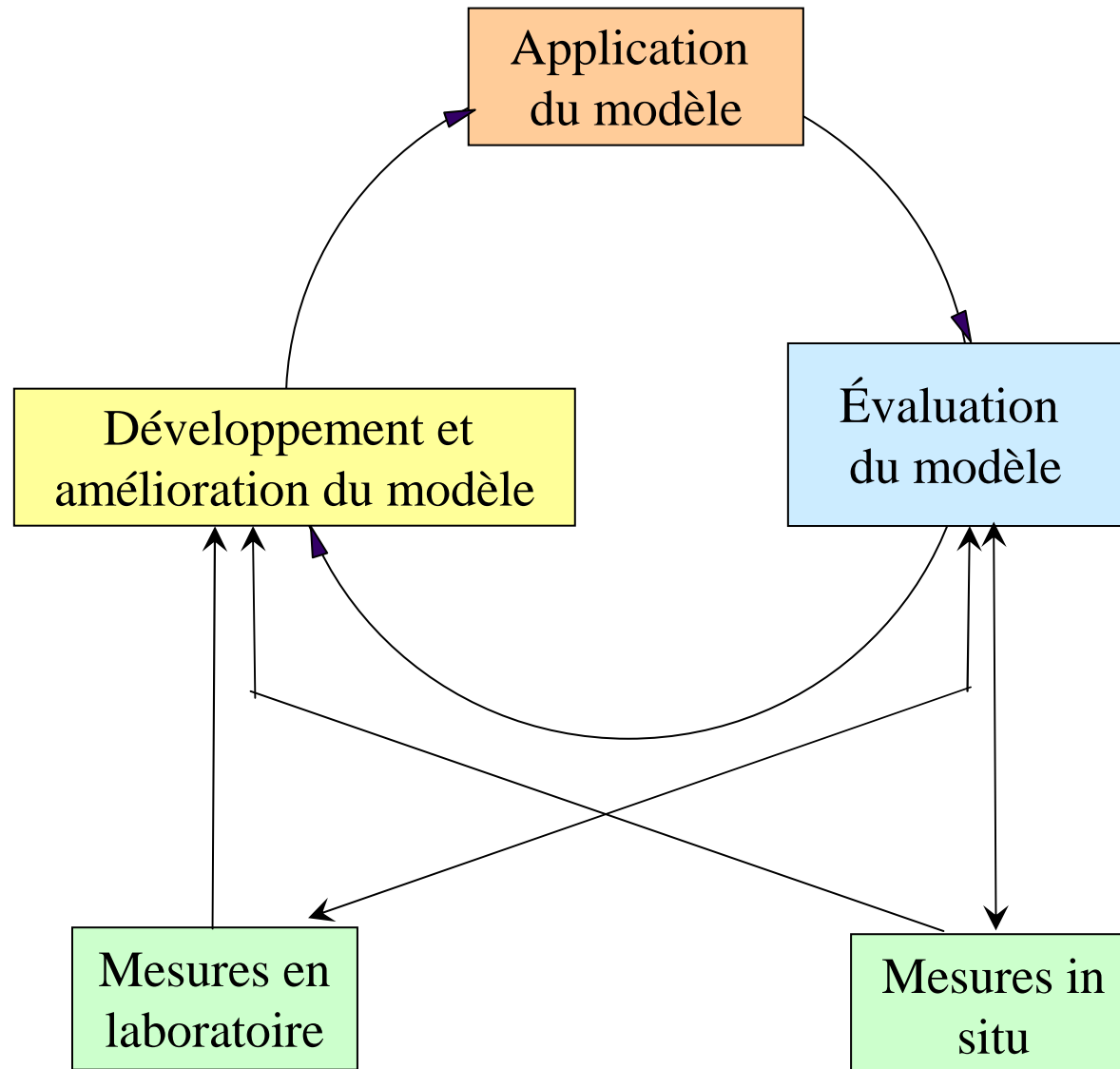
Mesures en
laboratoire



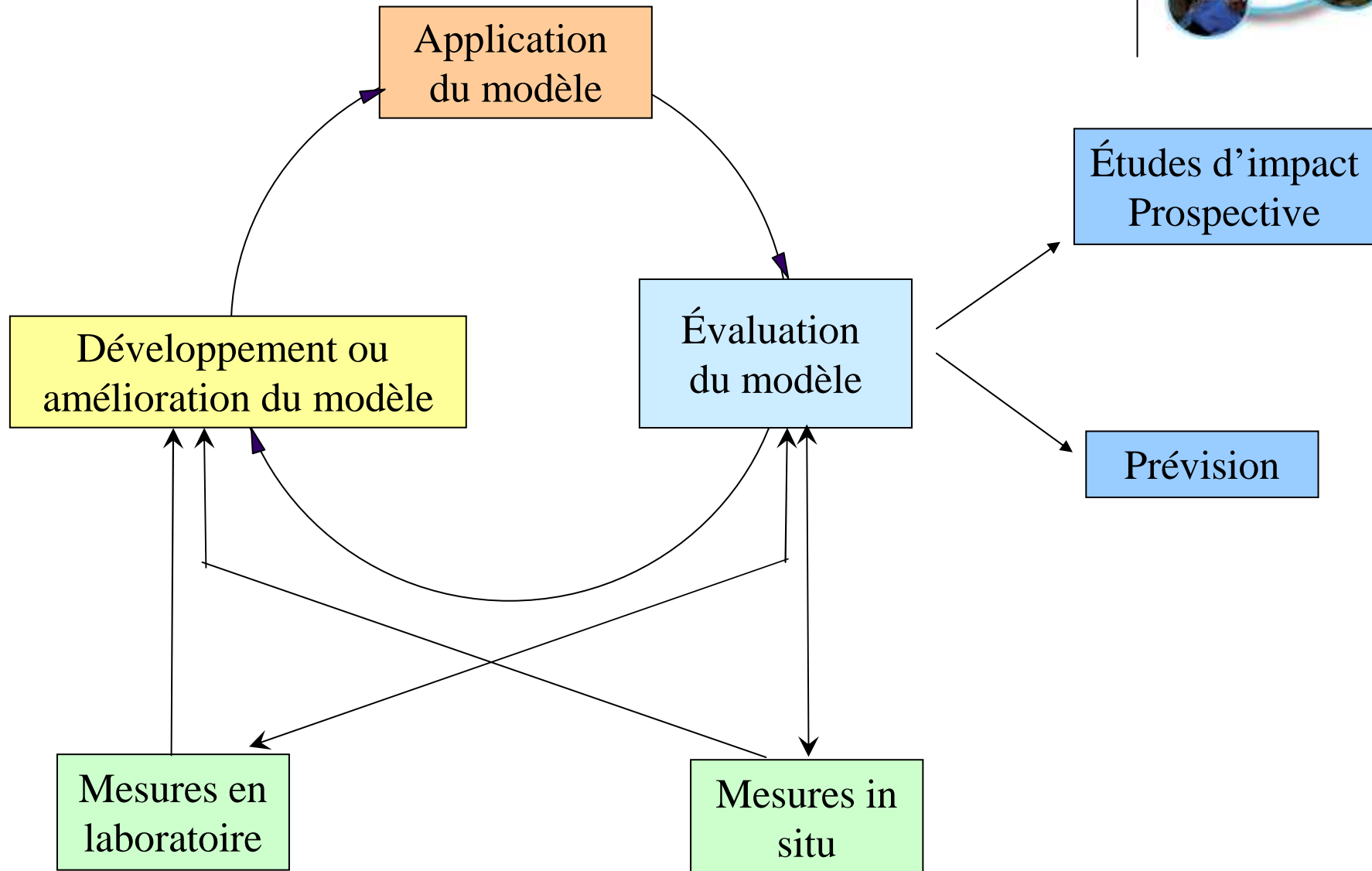
Mesures et modélisation : une itération



Mesures et modélisation : une itération



Mesures et modélisation : une itération

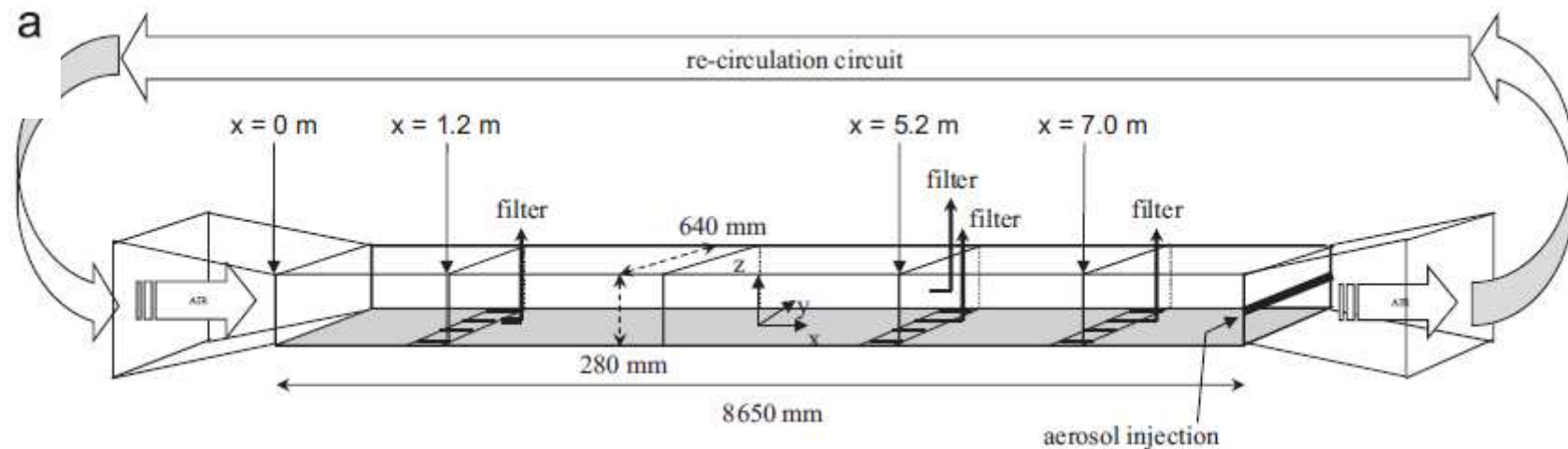


Mesures en laboratoire



- **Mesures effectuées en soufflerie**

- Utilisation d'un traceur : la fluorescéine
- Dépôts sur différentes surfaces (verre, ciment, herbe) à différentes inclinaisons



Mesures en laboratoire



- **Grande variabilité des vitesses de dépôts secs**
 - Les mesures confirment l'importance de la turbulence atmosphérique sur les vitesses de dépôts
 - Les vitesses de dépôts dépendent aussi fortement du type de surface

Mesures en laboratoire

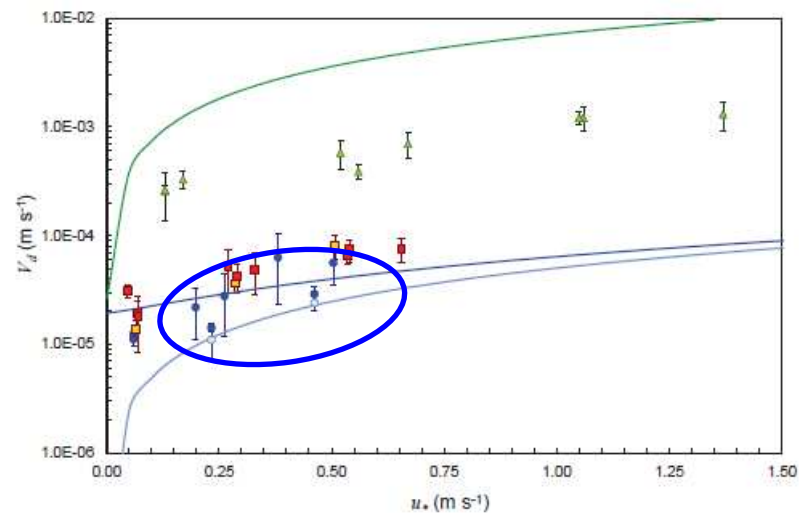


- **Les processus qui gouvernent les dépôts secs varient selon les surfaces et conditions atmosphériques**
 - Inertie et interception dominant pour les particules fines
 - Cependant, la sédimentation n'est pas négligeable pour les surfaces horizontales lisses avec faible vitesse de vent
 - La différence de température entre surface et atmosphère influe sur la vitesse de dépôt

Modèle et mesures



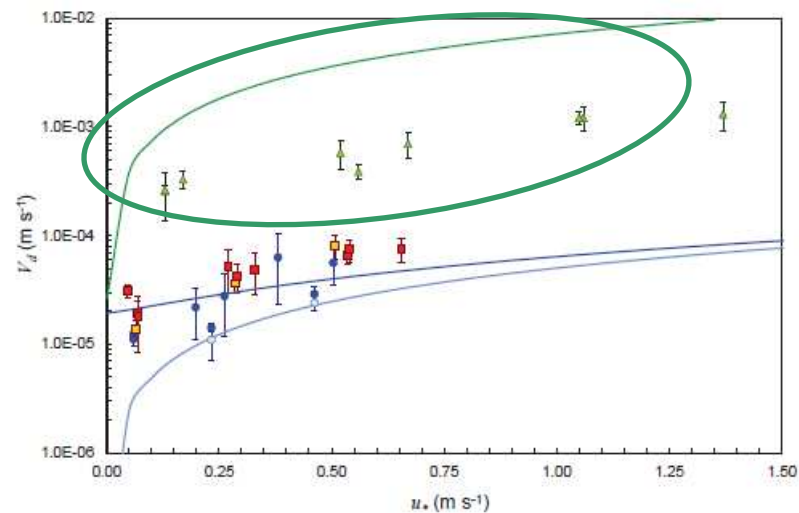
- **La modélisation des dépôts secs est plus ou moins satisfaisante selon la surface**
 - Les modèles sont assez performants pour les dépôts sur des surface lisses



Modèle et mesures



- **La modélisation des dépôts secs est plus ou moins satisfaisante selon la surface**
 - Les modèles sont assez performants pour les dépôts sur des surface lisses
 - Ils sont moins performants pour les surfaces à forte rugosité (par exemple herbe)



Mesures in situ de courte durée



- **Mesures de dépôts secs effectuées à l'IRSN, Cherbourg**
 - Les mesures ont été effectuées en extérieur sur différentes surfaces urbaines (bitume, herbe, verre, enduit de façade, ardoise, tuile, zinc) avec la fluorescéine pour des durées d'une heure
 - Elles confirment les résultats obtenus en soufflerie



Mesures in situ de longue durée



- **Mesures de concentrations atmosphériques**
 - ^{7}Be , métaux (Cu, Pb, Zn, V) et POPs (HAPs et pesticides)
 - 6 campagnes entre juin 2010 et mars 2012 au Pin Sec



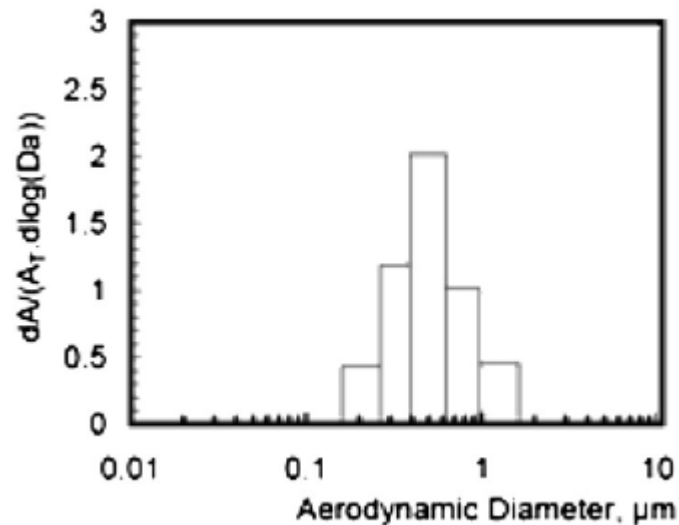
Mesures in situ de longue durée



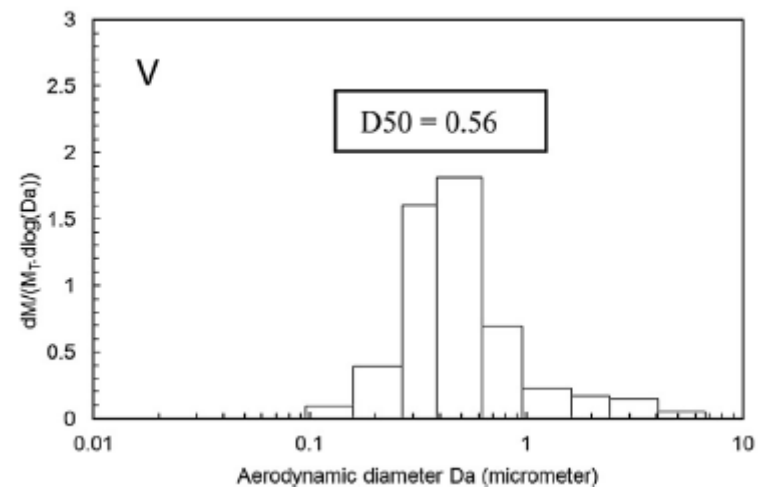
- **Granulométrie des particules**

- La granulométrie de ^7Be et des métaux est similaire (particules fines) et permet l'utilisation de ^7Be comme traceur pour les dépôts des métaux

Beryllium 7



Vanadium

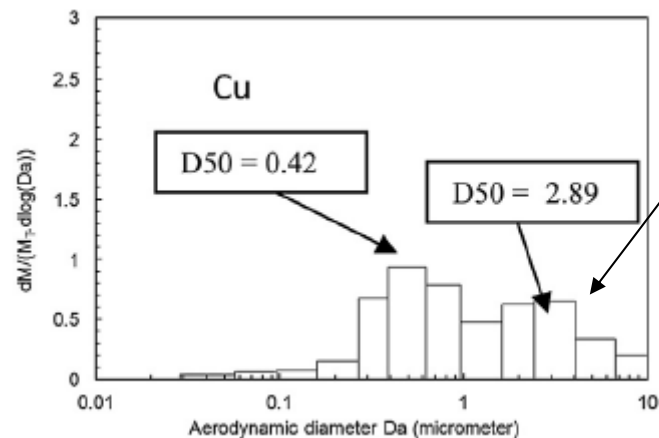


Mesures in situ de longue durée



- **Granulométrie des particules**

- Cependant, certains métaux montrent un mode de particules grossières, probablement dû à de la resuspension

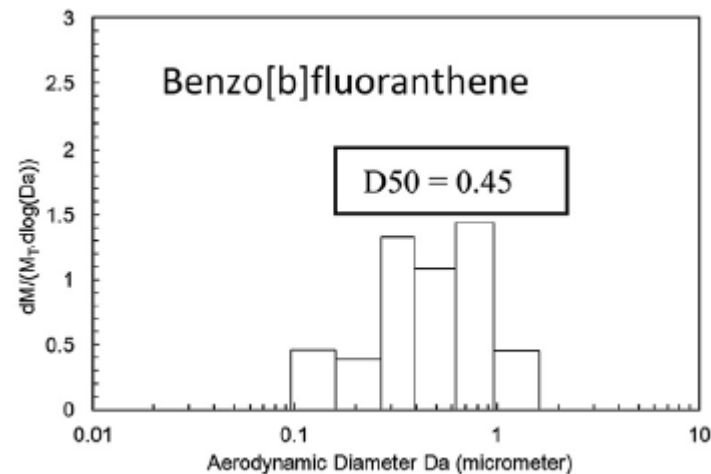


Mesures in situ de longue durée



- **Granulométrie des particules**

- Les HAP ont aussi une granulométrie de particules fines



- Les concentrations des pesticides étaient faibles

Mesures in situ de longue durée



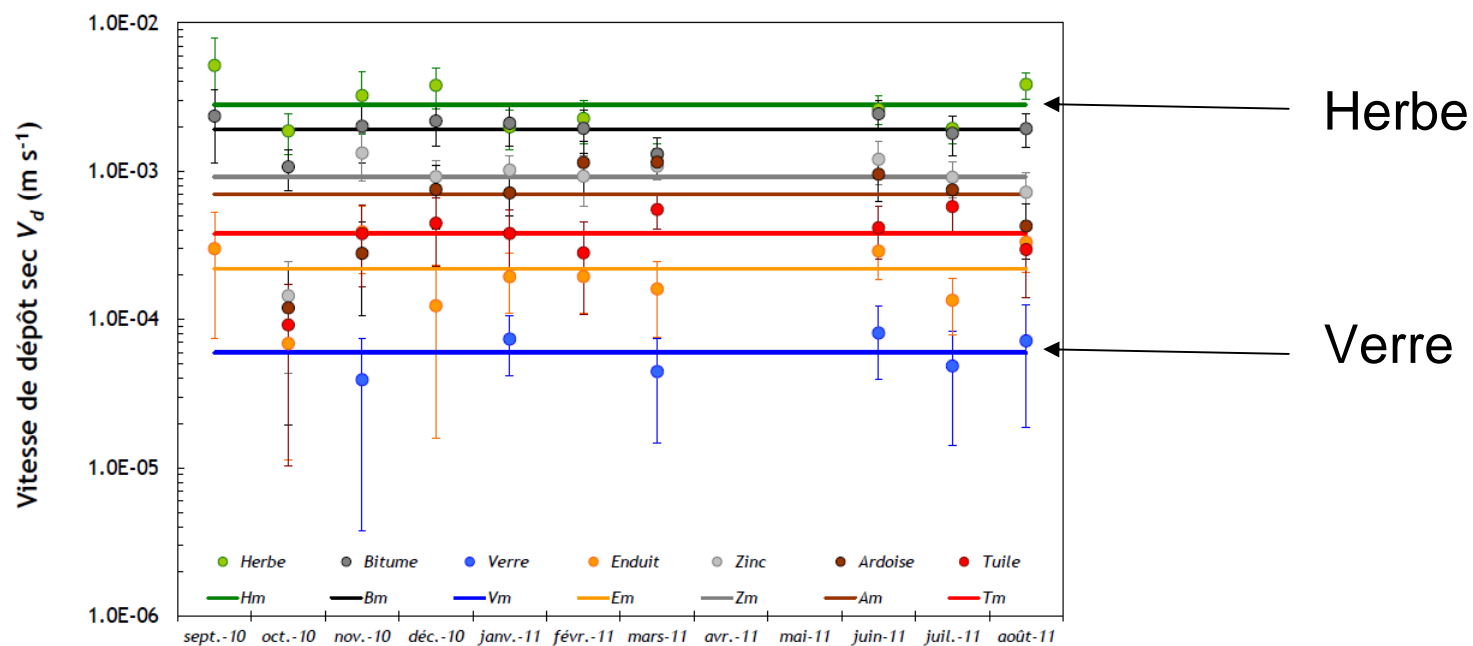
- **Mesures de dépôts secs**
 - Dépôts de ^7Be mesurés sur différentes surfaces à l'IFSTTAR près de Nantes pendant 16 mois (septembre 2010 – janvier 2012)



Mesures in situ de longue durée



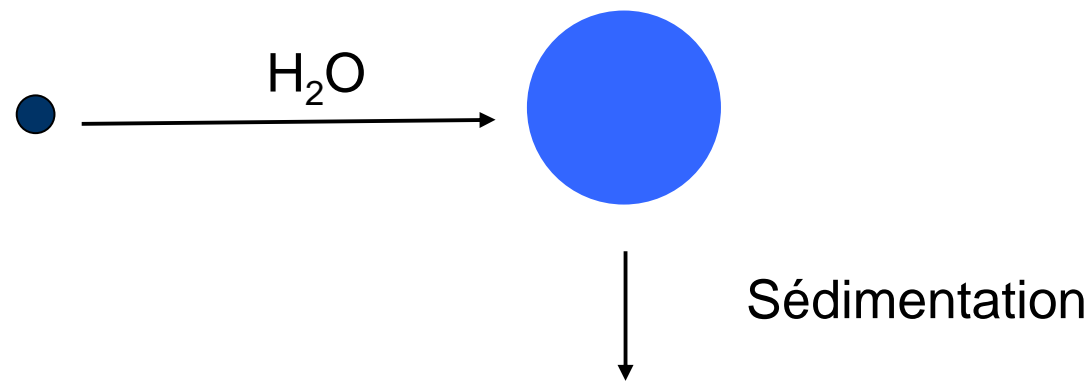
- **Les dépôts secs montrent une grande variabilité**
 - Deux ordres de grandeur selon la surface
 - Un facteur de deux à dix pour une surface donnée



Mesures in situ de longue durée



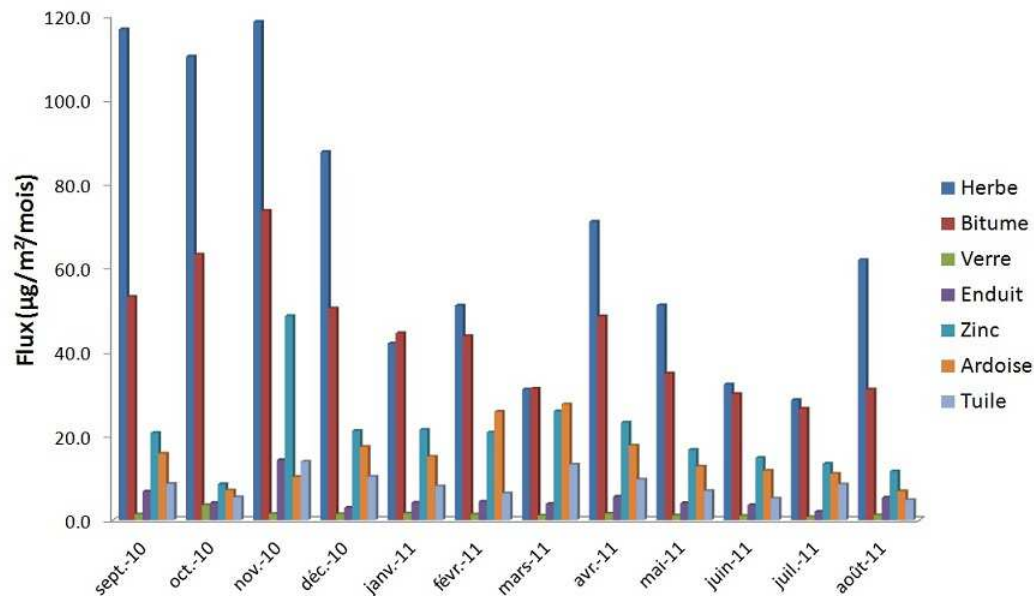
- **Les vitesses de dépôts secs in situ de longue durée sont supérieures à celles mesurées sur de courtes durées ou en soufflerie**
 - Particules fines => gouttelettes ?



Estimation des dépôts secs



- Les dépôts secs ont été estimés à partir des vitesses de dépôts du ^7Be et de l'inventaire des surfaces urbaines au Pin Sec
 - $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{V} > \text{Cr} > \text{As} > \text{Cd}$



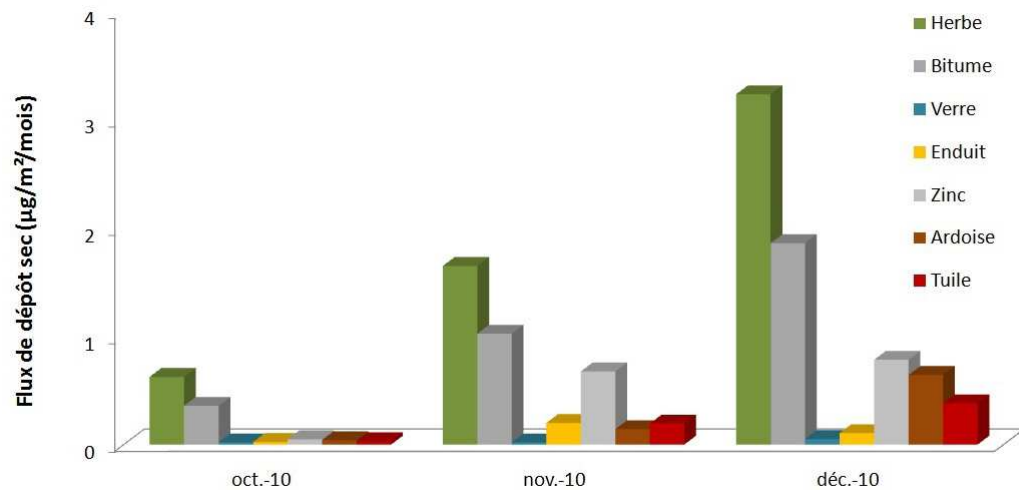
Dépôts secs du cuivre par type de surface et par mois

Source : Percot, *Thèse* (2012)

Estimation des dépôts secs



- **Les dépôts secs ont été estimés à partir des vitesses de dépôts du ^7Be et de l'inventaire des surfaces urbaines au Pin Sec**
 - Les dépôts de HAP sont plus importants en hiver



Dépôts secs du benzo(a)pyrène par type de surface et par mois

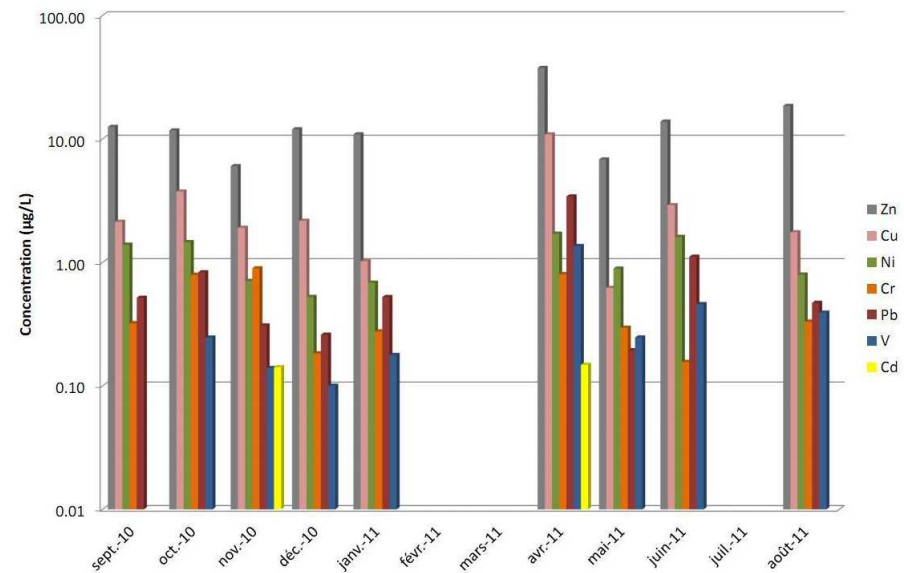
Source : Percot, *Thèse* (2012)

Mesures in situ de longue durée



- **Mesures de dépôts humides**

- Les concentrations de métaux et d'HAP ont été mesurés dans les précipitations à Nantes (Pin Sec) de septembre 2010 à août 2011

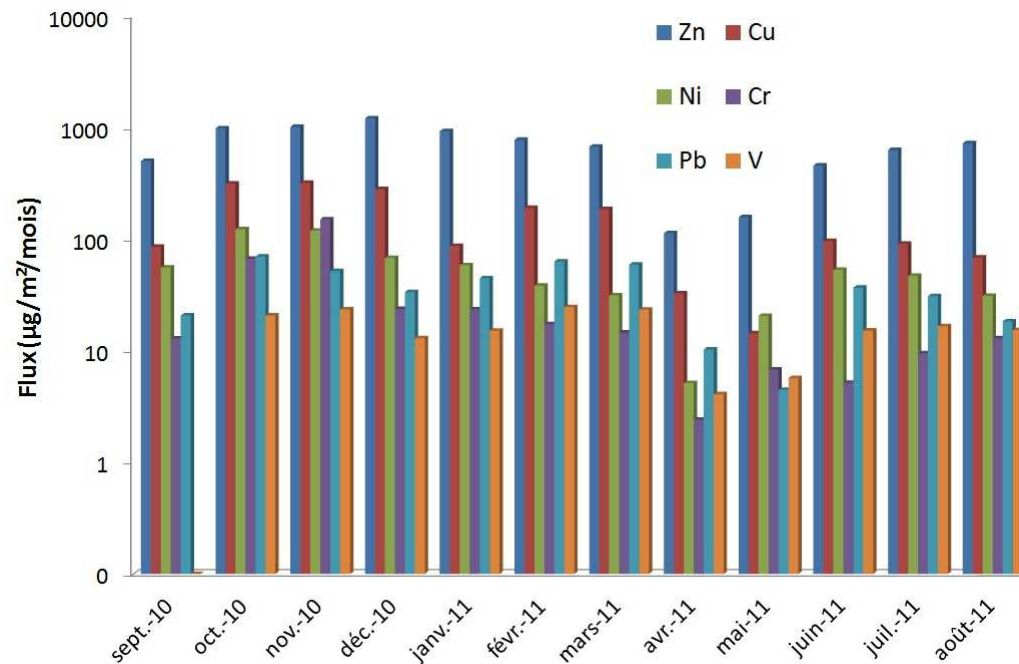


Mesures in situ de longue durée



- **Mesures de dépôts humides**

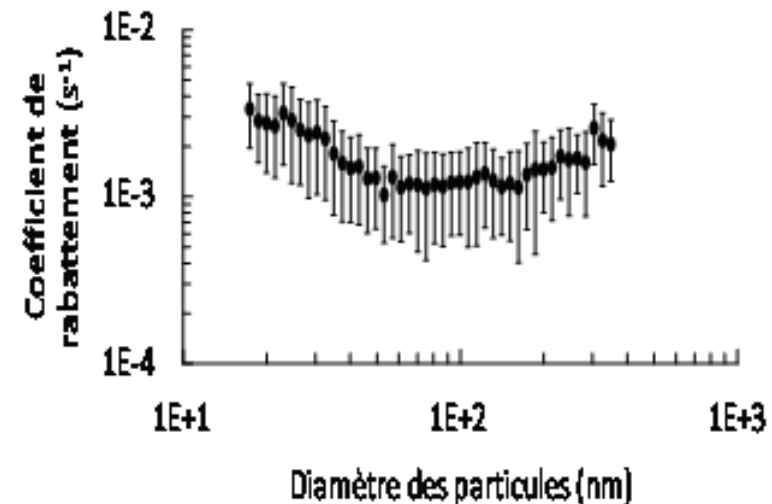
- Les flux de dépôts humides de métaux sont calculés à partir de ces mesures
- $Zn > Cu > Ni > Cr \sim Pb > V > As > Cd$



Mesures in situ de longue durée



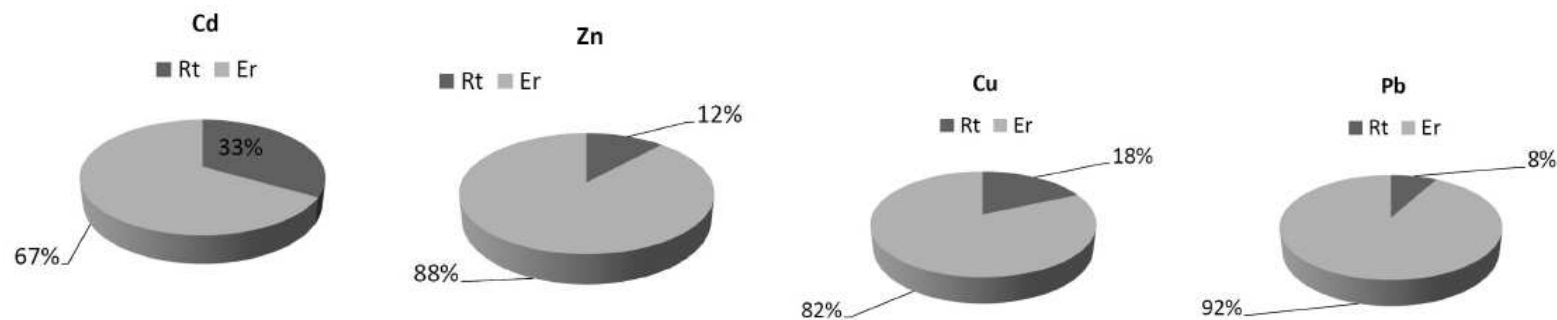
- **Les dépôts humides résultent du lessivage des polluants dans le nuage (rainout) et sous le nuage (washout)**
 - À Nantes, il semble que le « rainout » est souvent dominant
 - Le « washout » contribue de 2 à 35% (moyenne annuelle) au dépôt total selon les métaux



Contribution des dépôts atmosphériques



- La contribution des dépôts atmosphériques à la contamination des eaux de ruissellement a été estimée comme non-négligeable pour les métaux (jusqu'à 1/3)

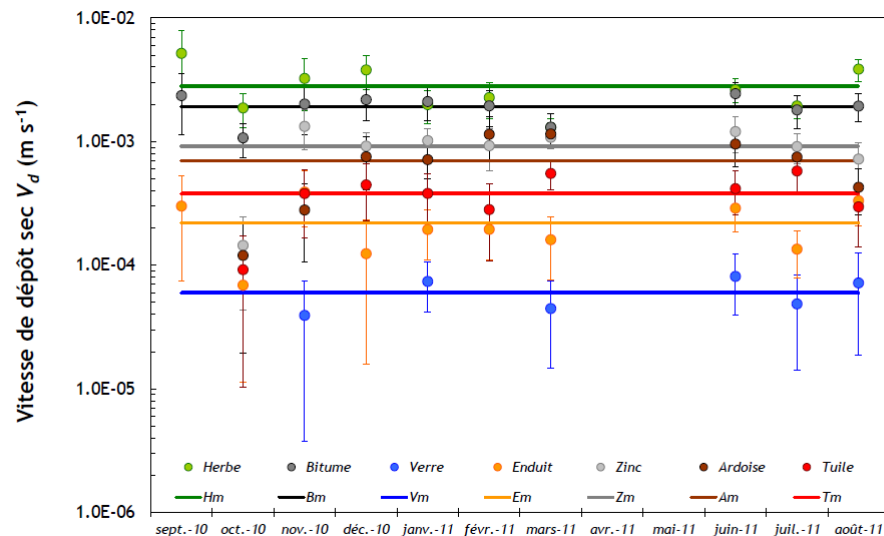


Contributions relatives des dépôts atmosphériques (■) et des autres sources (□) aux concentrations dans les eaux de ruissellement

Contribution des dépôts atmosphériques



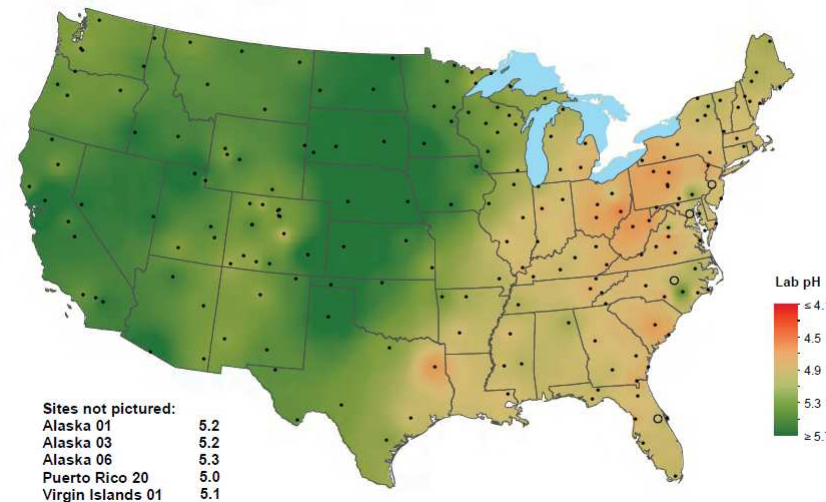
- Cette contribution des dépôts atmosphériques à la contamination des eaux de ruissellement est cependant inférieure à celle estimée dans des études antérieures, probablement car les mesures effectuées dans INOGEV prennent mieux en compte les différents types de surfaces urbaines



Modélisation des dépôts atmosphériques



- Jusqu'à présent, les dépôts atmosphériques ont surtout été étudiés à l'échelle continentale
 - Pluies acides
 - Mercure
 - etc.

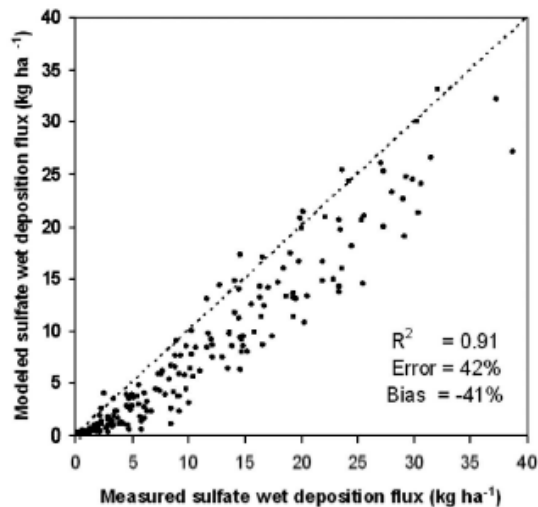


Le pH des pluies acides aux États-Unis en 2010
Source : National Acid Deposition Network (NADP)

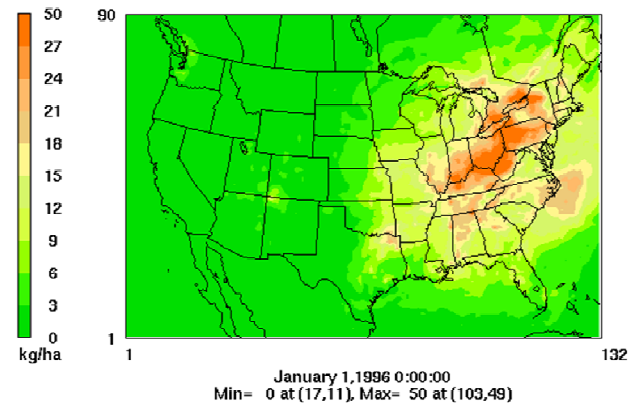
Modélisation des dépôts atmosphériques



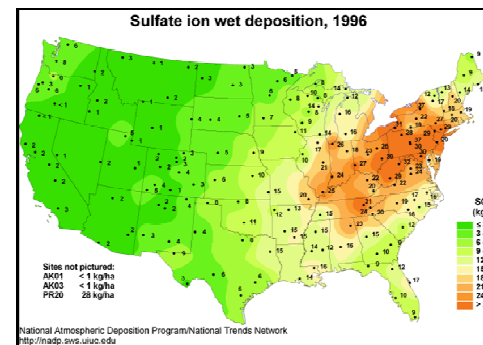
- En conséquence, les modèles de simulation de la pollution atmosphérique ont été développés et évalués pour des échelles continentales



Dépôts humides de sulfate
aux États-Unis en 1996



Modèle

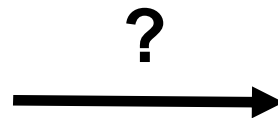


Mesures

Modélisation des dépôts atmosphériques



- Ces modèles de simulation de la pollution atmosphérique sont peu appropriés pour les dépôts en milieu urbain, particulièrement pour les dépôts secs



Modélisation des dépôts secs

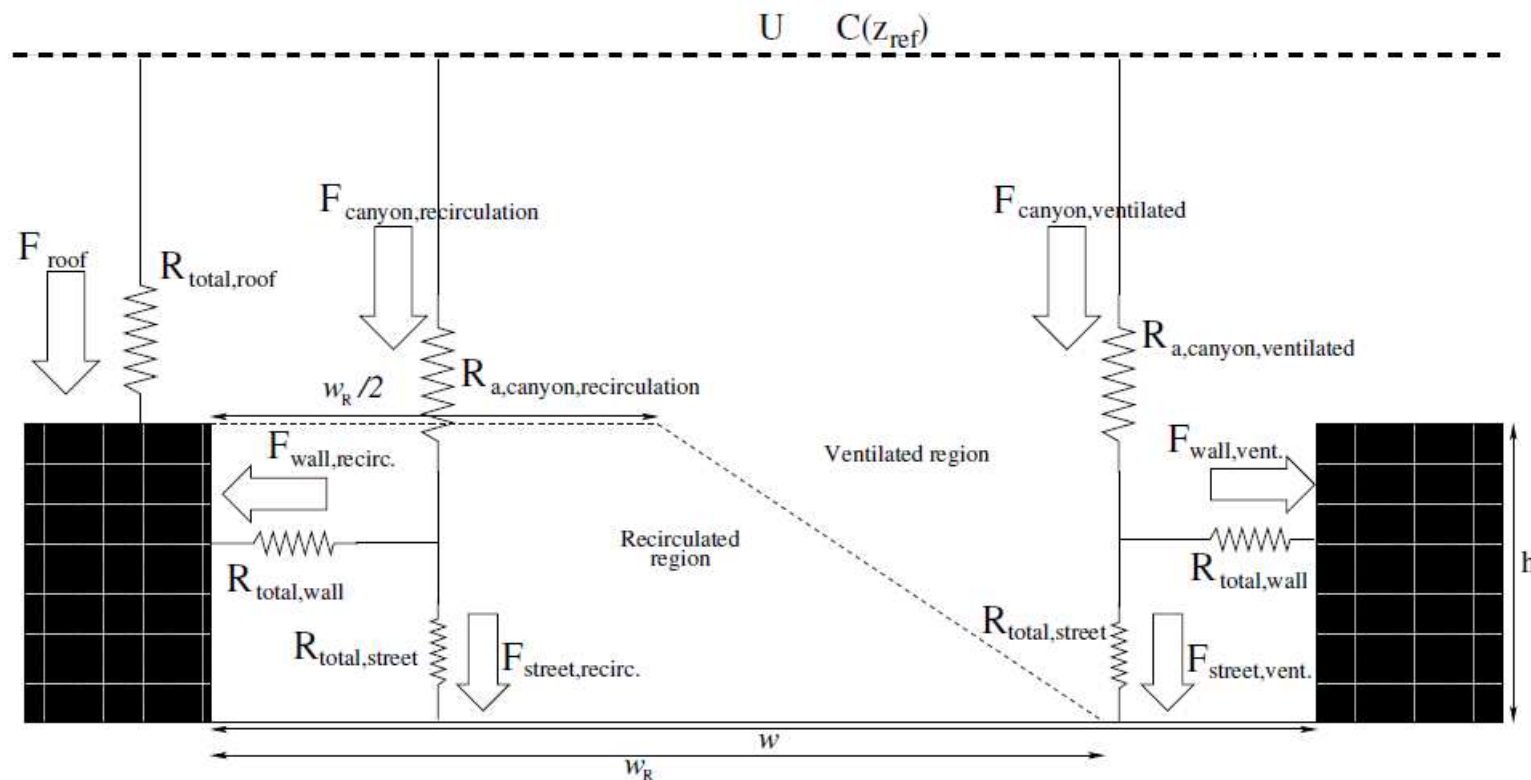


- **Un nouveau modèle de dépôts secs a été développé pour le milieu urbain ou suburbain dans INOGEV :**
 - Modèle classique : utilisation d'une représentation moyenne de la configuration du bâti (longueur de rugosité)
 - Nouveau modèle : résolution des caractéristiques moyennes du bâti (hauteur des bâtiments, densité du bâti, etc.) et meilleure représentation de l'atmosphère

Modélisation des dépôts secs



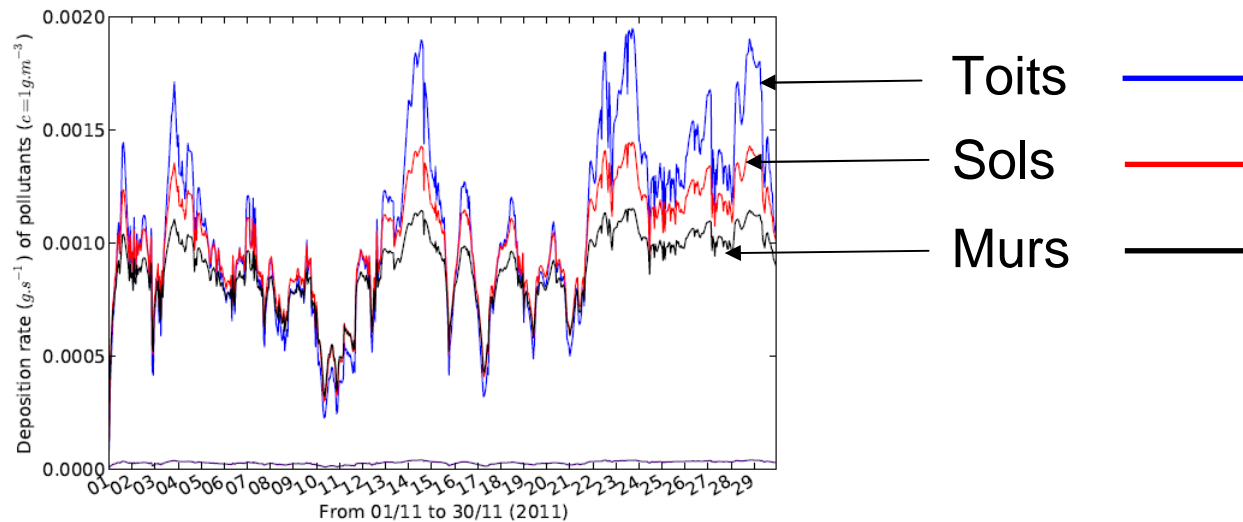
- Le flux de dépôts secs est décomposé en trois composantes majeures : dépôts sur les toits, les murs et les sols (rues, trottoirs, etc.)



Modélisation des dépôts secs



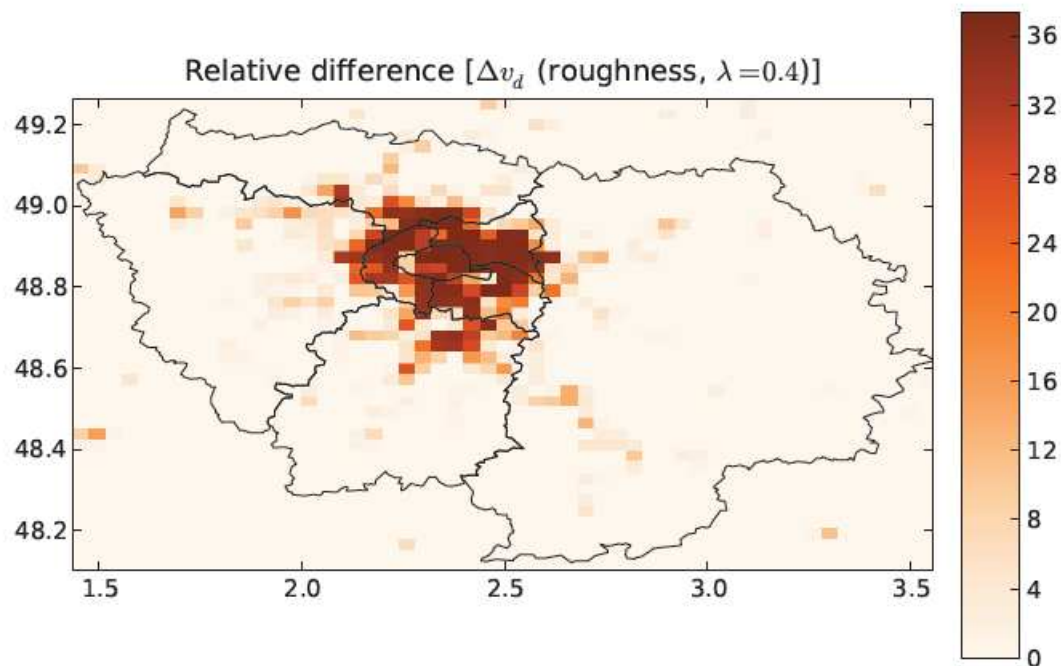
- Ce modèle offre deux avantages par rapport à l'ancien modèle standard :
 - (1) une résolution des flux de dépôts sur les différentes surfaces urbaines



Modélisation des dépôts secs



- Ce modèle offre deux avantages par rapport à l'ancien modèle standard :
 - (1) une meilleure estimation du flux de dépôts secs sur la ville
 - (2) une meilleure estimation du flux de dépôts secs sur la ville



Différence relative (%) entre le nouveau modèle urbain et le modèle standard

Modélisation des dépôts atmosphériques



- **Dépôts atmosphériques simulés sur Nantes**

Modélisation des dépôts atmosphériques



- **Comparaison des dépôts atmosphériques simulés et mesurés sur Nantes**

Modélisation des dépôts atmosphériques



- **Contribution des différentes régions aux dépôts atmosphériques à Nantes**

Perspectives : Mesures



- **Dépôts secs**

- Caractérisation des dépôts secs pour les particules grossières (en particulier $> 10 \mu\text{m}$) car leur contribution en masse est importante pour la qualité des eaux de ruissellement
- Réconciliation des mesures en laboratoire et in situ, sur courtes durées et sur longue durée
- Meilleure compréhension des processus de thermophorèse
- Sédimentation des particules hygroscopiques

Perspectives : Mesures



- **Dépôts humides**

- Contributions relatives du « washout » et du « rainout »
- Dépôts dus aux brouillards

Perspectives : Modèles



- **Dépôts secs**

- Comparaison aux mesures en milieu urbain
- Prise en compte plus fine de l'influence des différents types de surface sur les vitesses de dépôts
- Prise en compte des dépôts liés aux émissions du trafic dans les rues canyons
- Modélisation avec un modèle de mécanique des fluides et comparaison avec le modèle paramétrisé développé dans INOGEV
- Simulation d'autres polluants

Perspectives : Modèles



- **Dépôts humides**

- Prise en compte des brouillards
- Comparaison aux mesures pour les contributions du « washout » et « rainout »

- **Itérations modèles/mesures pour l'amélioration continue des modèles**

