

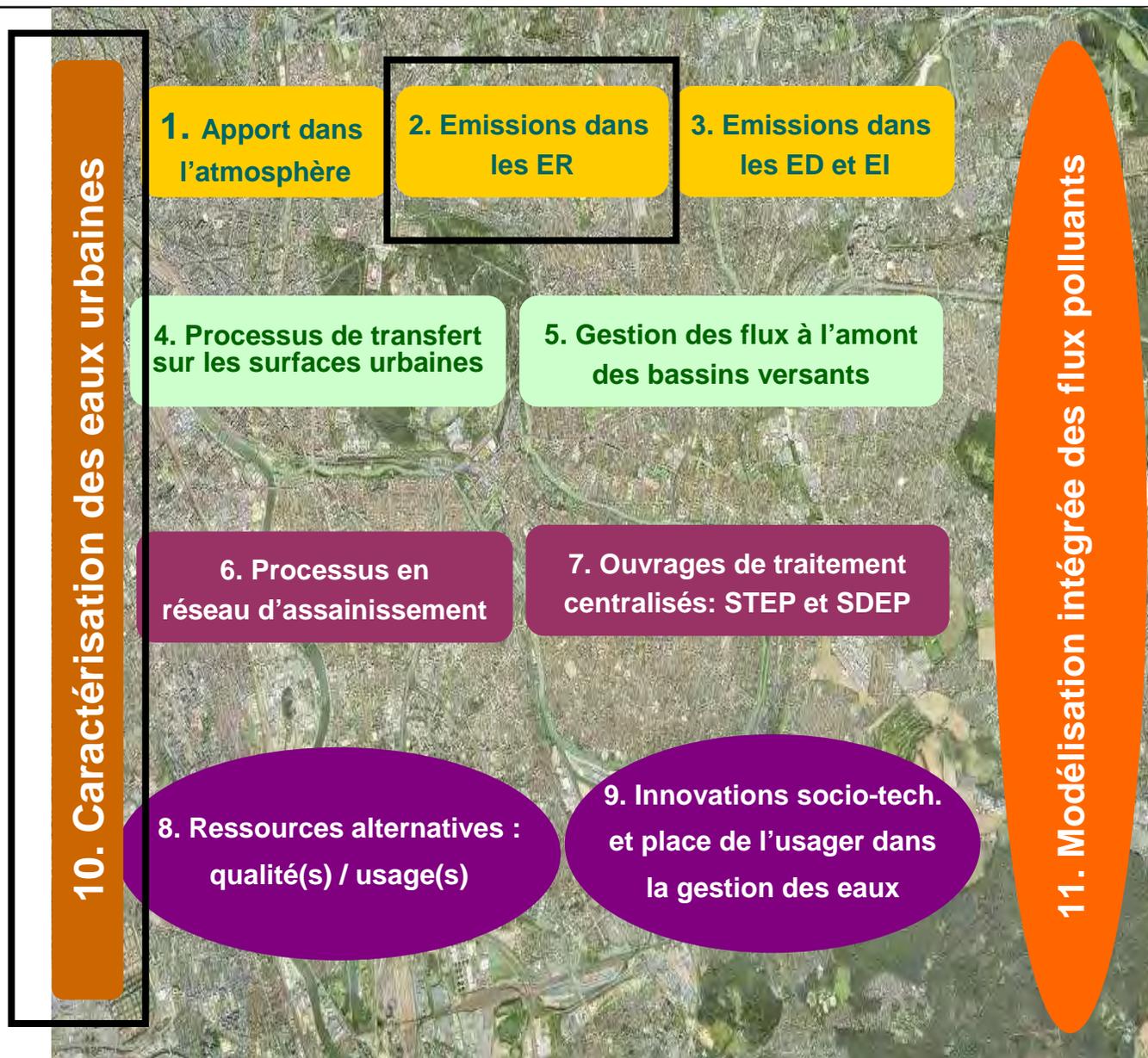


Observatoire des Polluants Urbains
Séminaire thématique
13/04/2015



Sources et flux de micropolluants dans les eaux pluviales

Thèmes OPUR 4



Projet de recherche « INOGEV »

Innovations pour une gestion durable de l'eau en ville

Connaissance et maîtrise de la contamination des eaux pluviales urbaines



Tâche 3 - Caractérisation et quantification des flux de micropolluants à l'échelle d'un bassin versant

Emissions

Observation au laboratoire

- Caractérisation des émissions endogènes (AP, BPA)
Lixiviations de matériaux urbains

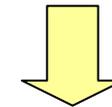
Modélisation des émissions

- Modélisation des flux annuels émis dans le ruissellement (métaux, HAP)

Exportations

Observation in situ

- Caractérisation des flux de micropolluants dans les eaux pluviales de 3 BV
- Couplage suivi en continu (pluie, débit, turbidité) et suivi événementiel (HAP, AP, PBDE, pesticides, métaux)



Modélisation des exportations

- Modélisation des flux annuels à l'exutoire des BV



14h15-15h00. **Processus d'émission de micropolluants**

- Potentiel d'émission d'alkylphenol, et de bisphenolA par le lessivage des matériaux de construction et des consommables urbain.
- Emission de métaux par les éléments singuliers des toitures.

15h00-16h00. **Modélisation des flux émis à l'échelle du bassin versant.**

- Modélisation des flux annuels de micropolluants émis dans les eaux de ruissellement : contribution au développement d'un modèle source/flux et application au cas des métaux et HAP.
- Evaluation des flux de zinc issus des ruissellements des matériaux de toiture à l'échelle urbaine.

16h00-17h00. **Concentrations et flux de micropolluants à l'exutoire du bassin versant de Sucy en Brie**

- Caractérisation des concentrations et des flux à l'échelle de l'événement pluvieux.
- Modélisation des flux émis à l'échelle annuelle par couplage des données événementielles et de données de mesure en continue.

17h00-17h30. Discussion.



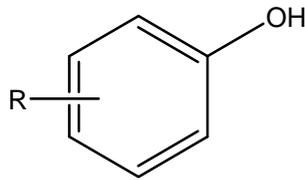
Observatoire des Polluants Urbains
Séminaire thématique
13/04/2015



Etude du potentiel d'émission d'alkylphénols et de bisphénolA par les matériaux de construction et l'automobile

Lamprea, Mirande, Caupos, Gromaire

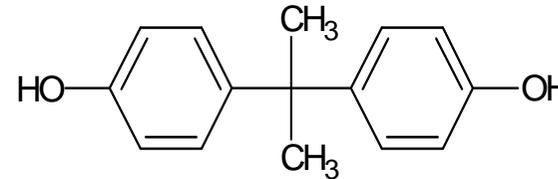
Emissions de bisphénolA et d'alkylphénols par les matériaux urbains?



Alkylphenols (AP)

Nonylphénol NP : R = C₉H₁₉

Octylphénol OP : R = C₈H₁₇



Bisphenol-A (BPA)

- Composés organiques de synthèse, origine purement anthropique
- Forte imprégnation de l'environnement
- Contamination avérée des eaux pluviales
- Perturbateurs endocriniens

Règlementation

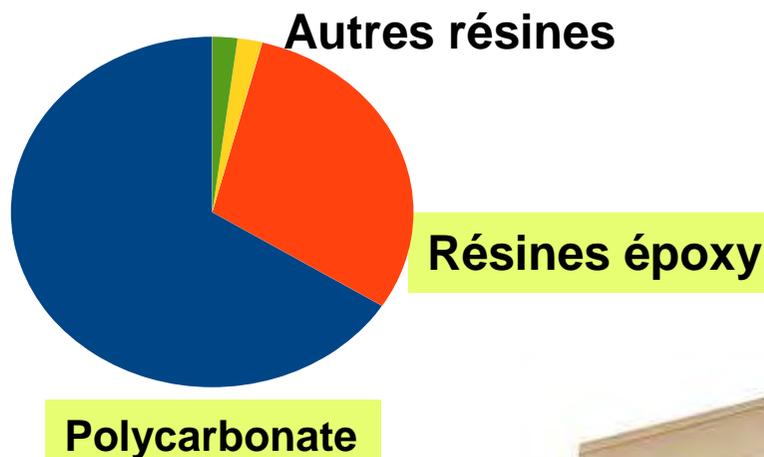
→ **Alkylphénols**: polluant prioritaire DCE/60/2000, restrictions d'usage en CEE – mais ne s'applique pas directement aux matériaux de construction

→ **Bisphénol A**: restriction d'usage en France pour les contenants alimentaires

Utilisations du bisphénolA - présence dans les matériaux urbains et l'automobile

Plastics Europe , 2007

TBBA : tétrabromobisphénolA
(retardateur de flamme PVC et epoxy,
liquides de frein)



Peinture anticorrosion
véhicules (sous-
couche)



Revêtement
surfaces métalliques

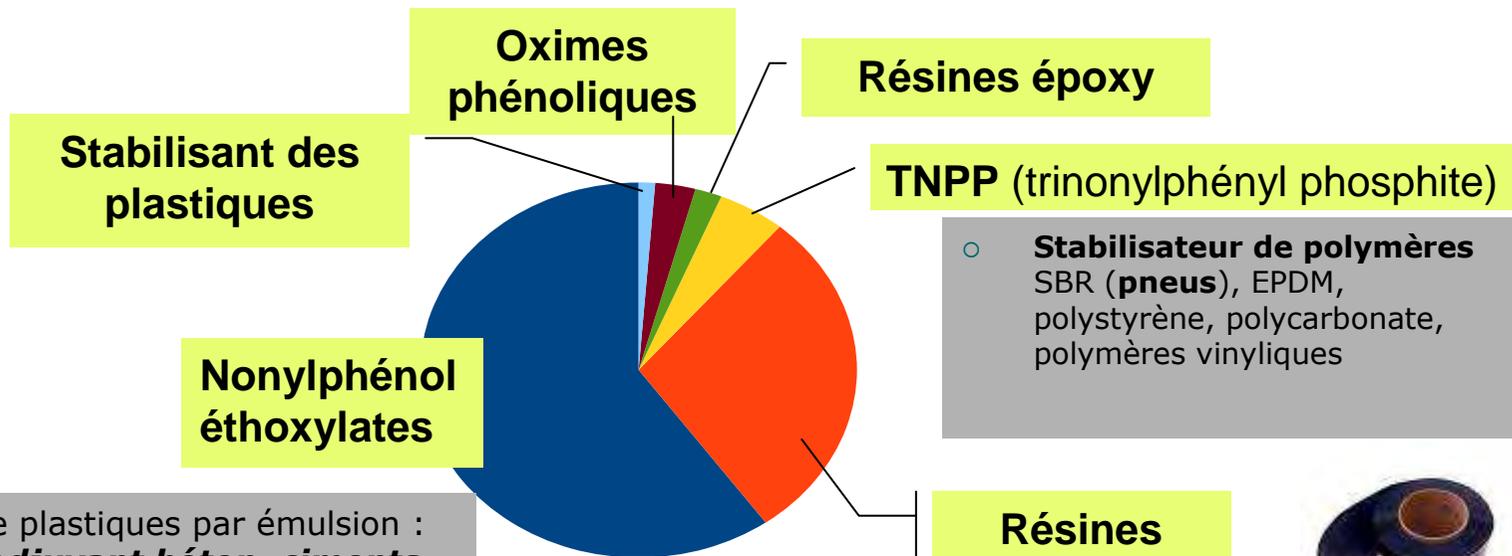


○ Autres usages rapportés (adjuvant)

- **Fabrication du PVC** (antioxydant, inhibiteur de polymérisation)
- **Durcisseur de peintures et vernis**
- **Industrie automobile:** fluides (liquides de frein, produits d'entretien), pneus (antioxydant)

Utilisation des nonylphénols - présence dans les matériaux urbains et l'automobile

European Chemicals Bureau , 2000



○ **Stabilisateur de polymères**
SBR (**pneus**), EPDM,
polystyrène, polycarbonate,
polymères vinyliques



Résines phénoliques

○ **Pneus** (agent d'adhérence SBR, EPDM, BR)



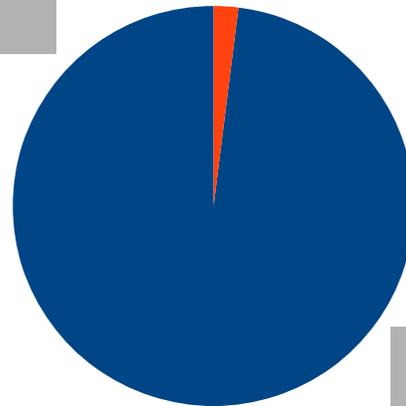
- Fabrication de plastiques par émulsion : SBR (**pneu**, **adjuvant béton**, **ciments modifiés**), PVC, Polyvinyle acétate (**peintures**, **ciments modifiés**)
- Additifs du **béton**.
- Agents mouillants, émulsifiants et dispersants dans les **laques**, les **verniss** et les **peintures**.
- Emulsions du **bitume**
- Additifs pour **fluides lubrifiants** et **carburants**



Utilisation des octylphénols - présence dans les matériaux urbains et l'automobile

- Émulsifiant pour la synthèse de polymères (acryliques et vinyl acrylics)
(résines pour peintures de façades, toitures, anti-corrosion)

Ocylphénol
éthoxylates



Résines phénoliques

- **Pneus** (agent d'adhérence)

Alkylphénols et BisphénolA dans les matériaux: des émissions possibles vers le ruissellement?



- De multiples usages rapportés dans la littérature
- Recherche plus poussée sur la composition des matériaux urbains en contact avec la pluie
 - Présence des composés pas toujours avérée
 - Grande diversité des formulations
 - Formulations dépendante de l'usage du matériau
 - Évolution des compositions
 - À des concentrations souvent très faibles

⇒ **Des composés réellement présents?**

⇒ **Extractibles dans l'eau de ruissellement?**

- Produits de construction entrant en contact avec la pluie

- 29 échantillons de matériaux
- Neufs et anciens

Bétons



Béton de construction (préfabriqué et armé)



Béton de trottoir et dalle en béton



Béton de réseau

Gouttières



Gouttières en PVC

Menuiserie



Volet en PVC

Etanchéité



Revêtement d'étanchéité SBS

Matériaux de couverture



Tuile en béton



Plaque en acier



Panneau en polycarbonate alvéolaire

Matériaux pour toitures végétalisées



Membranes d'étanchéité SBS



couche de drainage en polyéthylène recyclé



couche de drainage en polystyrène



Géotextile



Natte de drainage



Substrats monocouche

- Secteur automobile



Pneumatique



**Carrosserie
(peinture)**



**Liquide de frein, de
refroidissement et lave-glace**

→ Pièces de voiture (usagées)

- ✓ Pneumatiques (4)
- ✓ Carrosserie (3)

→ Consommables automobiles (neufs)

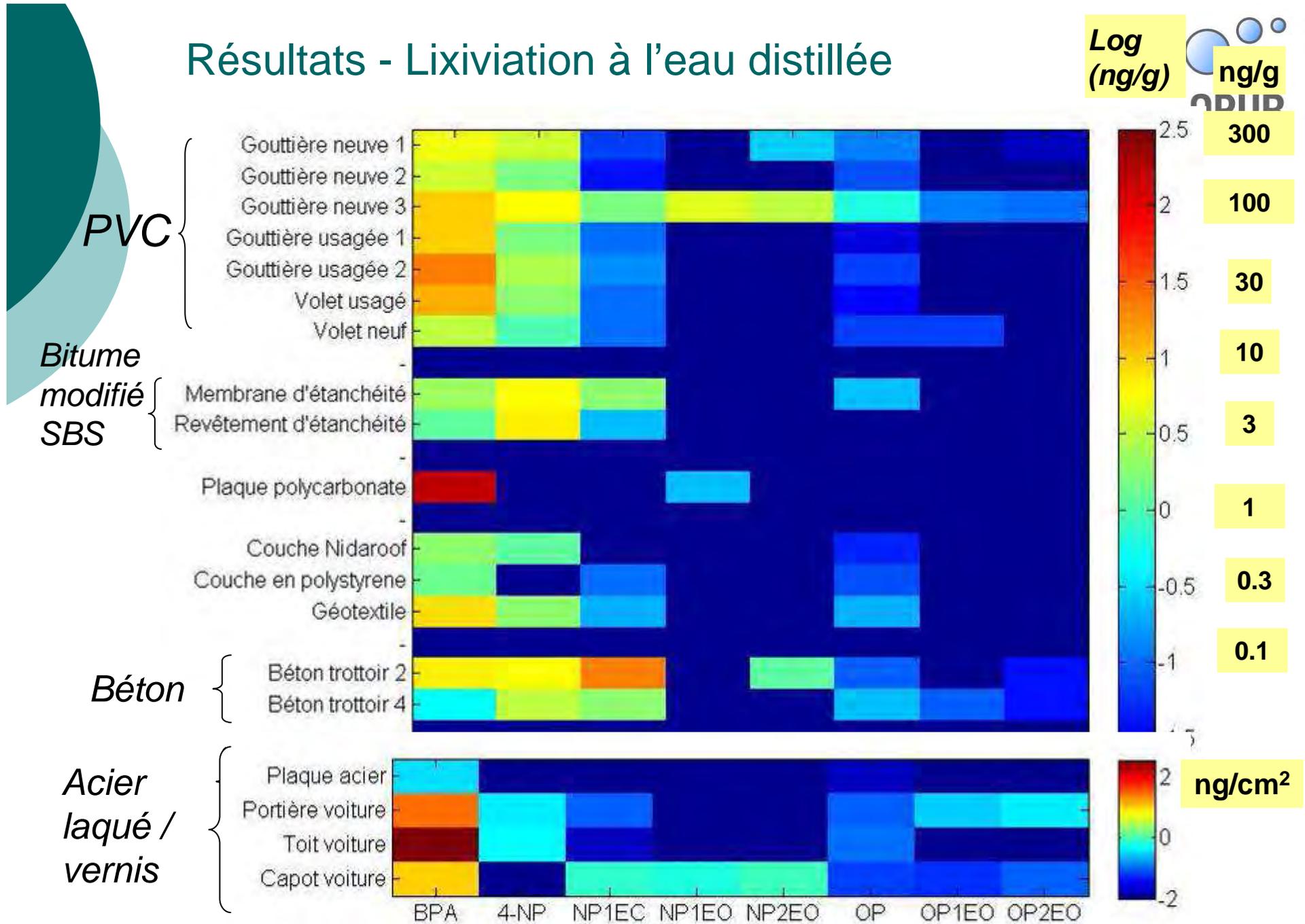
- ✓ Liquide de frein (3)
- ✓ Liquide de refroidissement (4)
- ✓ Lave-glace (4)
- ~~✓ Carburant~~
- ~~✓ Huile moteur~~

- Matériaux de construction, pneu, carrosserie
 - Lixiviation au méthanol
 - ⇒ 36 matériaux
 - ⇒ sélection de matériaux contenant les molécules recherchées

 - Lixiviation à l'eau distillée
 - ⇒ 22 matériaux
 - ⇒ sélection de quelque matériaux

 - Simulation de pluie
 - ⇒ 5 matériaux, en duplicas
- Substrats: extraction / analyse
- Fluides automobiles: dilution / extraction / analyse

Résultats - Lixiviation à l'eau distillée



Résultats – simulation de pluie



- Problème de blanc (nonylphénol surtout)
- Un comportement des matériaux très différent de la lixiviation

- Ordre de grandeur des masses lessivées par m^2 (après déduction du blanc)

Matériaux	Masse lessivée ($\mu\text{g}/m^2$)					
	BPA	4-NP	NP1EO	NP2EO	OP	NP1EC
Membrane d'étanchéité	0,5 - 1,4	8,5 - 9,1	0,0	0,0	0,2 - 0,5	0,14
Plaque en polycarbonate	0,5 - 0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gouttière neuve 3	0,5 - 0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Toit de voiture	50 - 59	0,1 - 0,6	0,2	0,0 - 0,1	0,1 - 0,3	0,0
Béton de trottoir 2	6,5 - 8,0	0,0 - 8,1	1,0 - 1,6	1,2 - 1,4	0,0 - 0,2	1,2- 1,8

Résultats – concentration des fluides automobile



Concentrations en $\mu\text{g/l}$

Echantillon	BPA	4-NP	NP1EO	NP2EO	OP	OP1EO	OP2EO
Blanc	0,14	0,40	0,20	0,20	< L.D	<L.D	0,06
Liquides de refroidissement	0,12	1,12	<L.D	<L.Q	<L.Q	<L.Q	<L.D
	0,45	1,42	<L.D	<L.Q	<L.Q	<L.Q	<L.D
	1 679	6,13	4,40	4,17	56	<L.Q	7,98
	0,40	7,46	<L.D	<L.Q	0,54	<L.Q	<L.Q
Lave-glace	0,39	2,21	<L.D	<L.Q	<L.Q	<L.Q	<L.D
	0,35	5,13	<L.D	<L.Q	1,10	<L.Q	<L.D
	< L.Q	3,51	<L.D	<L.Q	<L.Q	<L.Q	<L.D
	2,43	3,22	<L.D	<L.D	<L.Q	<L.Q	<L.D
Liquide de freins	5,5*10⁶	2 537	<L.D	<L.D	4 081	<L.Q	<L.D
	5,3*10⁶	3 926	<L.D	228	<L.Q	<L.Q	<L.D
Liquide de freins et d'embrayage	287*10 ³	2 375	<L.D	<L.Q	<L.Q	<L.Q	<L.Q

Conclusion



- Travail important de recherche sur la composition des matériaux / les usages / l'évolution des usages
 - Très chronophage
 - Beaucoup de difficulté à trouver des informations précises
 - Secret de fabrication

- Travail expérimental exploratoire
 - Présence des composés démontrée dans de nombreux matériaux / consommables automobiles
 - Grande variabilité d'un échantillon à l'autre
 - A poursuivre pour aboutir à des facteurs d'émission utilisables



Observatoire des Polluants Urbains
Séminaire thématique
13/04/2015



Sources et flux de micropolluants dans les eaux pluviales

Action 2.1 – Caractérisation des émissions en contaminants
métalliques des toitures en conditions contrôlées
Émission de métaux par les éléments singuliers des toitures

Gaëlle BULTEAU (CSTB)
Bernard de GOUVELLO (CSTB/LEESU)
Marie-Christine GROMAIRE (LEESU)



- Projet TOITEAU : quantifier les émissions de métaux dans les eaux de ruissellement de toiture

→ Travail important réalisé sur bancs d'essais dans OPUR 3 (thèse de Robert-Sainte, 2009)

5 familles de matériaux étudiés :

Zn, Cu, Pb, acier, Al

Zn : taux d'émission de $2,1 \text{ g. m}^{-2} \text{ an}^{-1}$ à $4,5 \text{ g. m}^{-2} \text{ an}^{-1}$

Pb : taux d'émission $7,5 \text{ g. m}^{-2} \text{ an}^{-1}$ à $15 \text{ g. m}^{-2} \text{ an}^{-1}$



- Limites et interrogations

→ Résultats obtenus sur Pb à confirmer

→ Étendre la démarche aux éléments de toiture autres que les rampants, en situation réaliste et contrôlée

- Dans OPUR 4 : besoins expérimentaux d'acquisition de données en « vraie » grandeur



- Développement d'outils et de protocole d'essais menés en conditions réelles ou contrôlées au sein du grand équipement AQUASIM



- Proposition, pour chacun des contaminants considérés, de modèles d'émission à l'échelle d'une toiture réelle

- Équipement de recherche à échelle 1 sur le cycle de l'eau - bâtiment/parcelle

- Réalisation d'expérimentations en conditions réalistes et contrôlées

- Moyens d'essais

Bâtiment (2300 m², 4 niveaux)	Parcelles (5000 m²)
20 cuves de stockage d'eau	Parcelles essais ANC
Bassins extérieurs de stockage	Parcelles d'infiltration
Bassin climatique (96 m ³)	Parcelle avec nappe phréatique
Plateau et mur végétalisés	
Unités de traitement d'eau	

- Moyens d'analyses

- Laboratoire d'analyses physico-chimiques
- Laboratoire d'analyses des matériaux
- Laboratoire de microbiologie
- Analyses en ligne



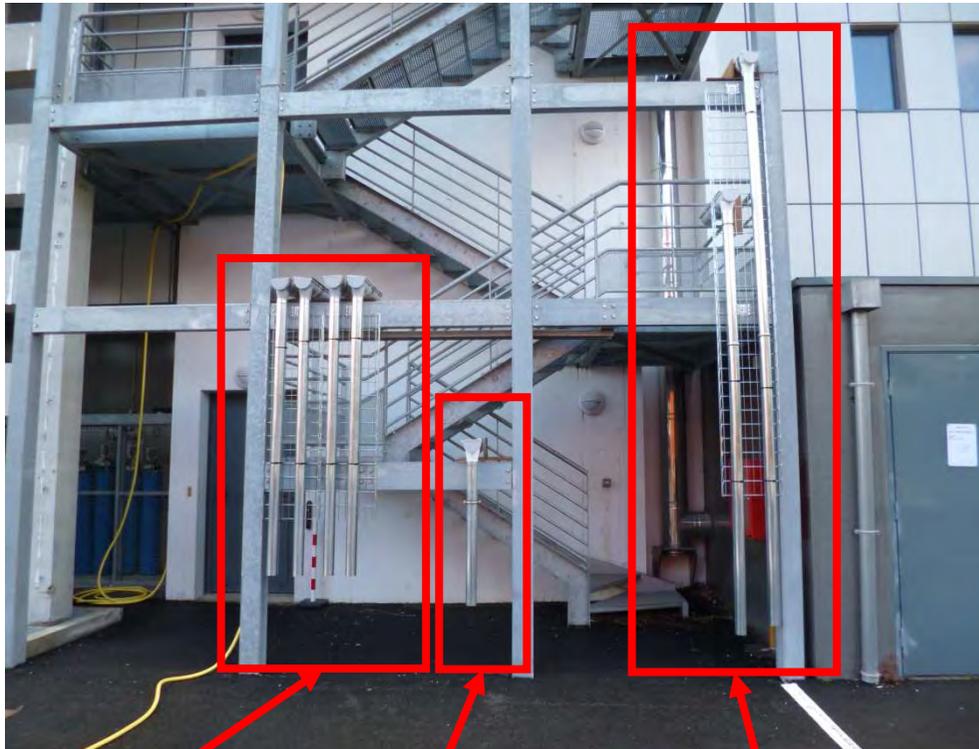
○ **Pour l'étude Pb**

- caractérisation des émissions en fonction de la nature de l'élément, de la condition d'exposition et de l'âge

○ **Pour l'étude Zn**

- caractérisation des émissions par les descentes en fonction de la longueur et du débit de ruissellement

Banc d'essai pour les émissions de Zn



4 descentes de
2 m

1 descente de
1 m

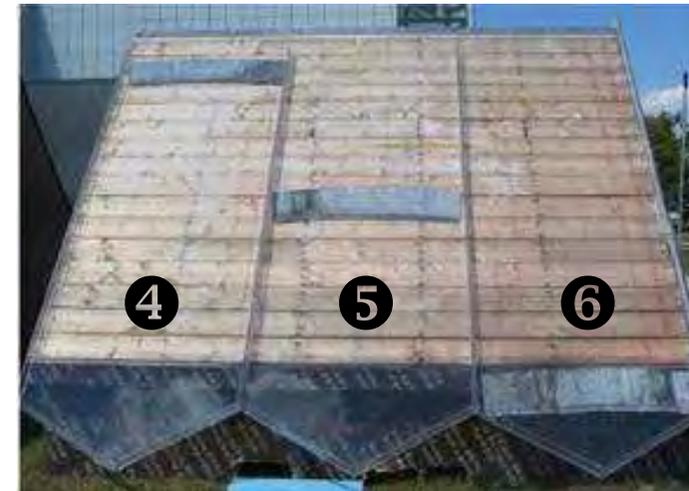
1 descente de 3 m
+
1 descente de 4 m



Vues d'une gouttière
à l'amont d'une descente



Bancs d'essais pour les émissions de Pb



- ① Blanc - référence
- ② Pb neuf au milieu
- ③ Pb neuf en bas
- ④ Pb ancien en haut
- ⑤ Pb ancien au milieu
- ⑥ Pb ancien en bas
- ⑦ Panneau plat de Pb
- ⑧ Noue en Pb

○ Étude sur le Zn

- Alimentation avec de l'eau de pluie collectée sur le toit terrasse d'Aquasim
- Scénarii de ruissellement contrôlés pour chaque descente
 - débit de ruissellement (50, 250, 600 et 800 L/h) correspondant à des hauteurs de pluie de 1, 5, 12 et 16 mm pour 50 m² de toiture
 - longueur (1, 2, 3 ou 4 m)
 - période de temps sec inter-événementielle (1, 4 et 10 jours)

○ Étude sur le Pb

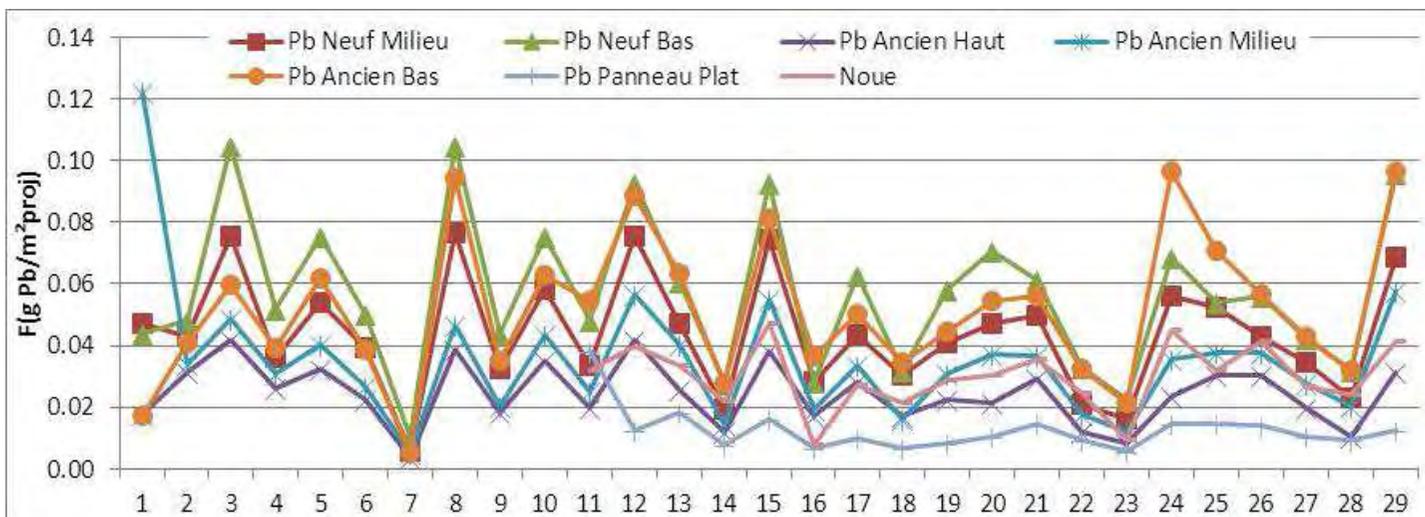
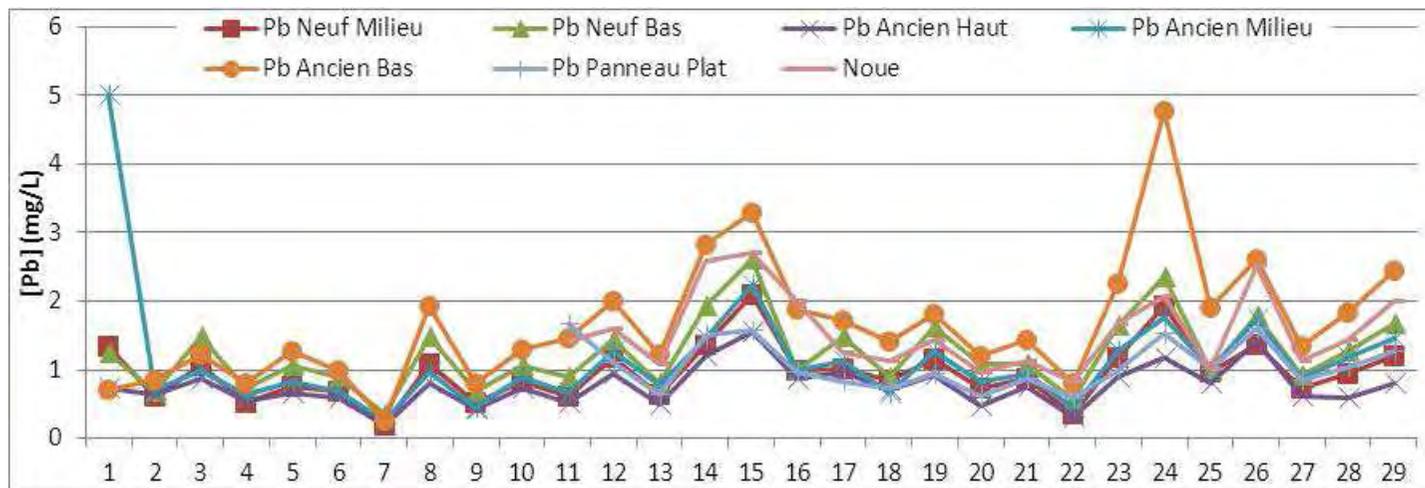
- Exposition des éléments à des pluies réelles
29 échantillons d'avril 2012 à avril 2013
- Paramètres analysés : Pb, pH, COT

Résultats – Focus sur les données Pb (1/4)

Évolution temporelle de la concentration de plomb (mg/L) et du flux de plomb émis (g Pb/m² projeté)

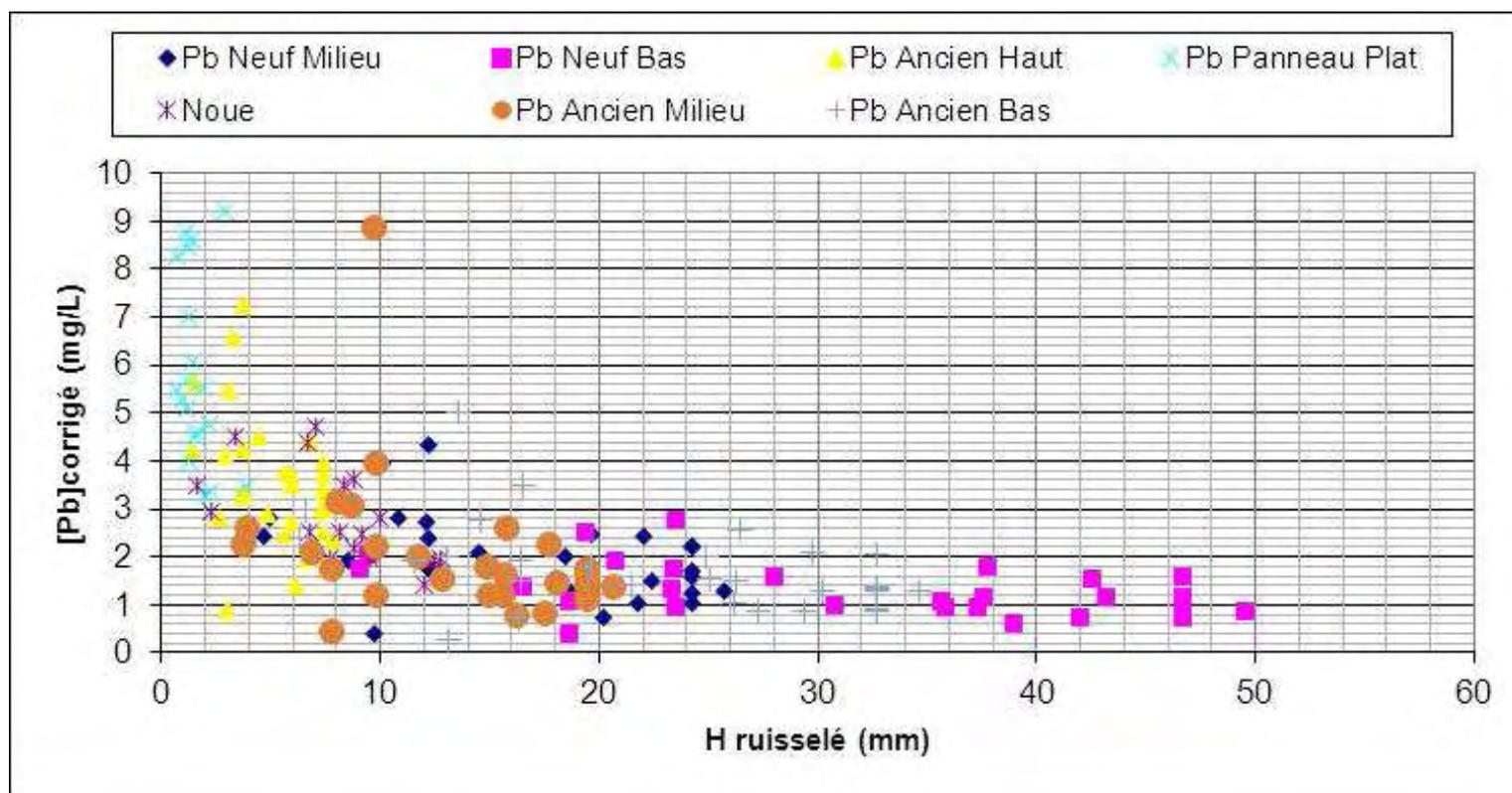


[] et flux dépendent de emplacement sur toiture



Résultats – Focus sur les données Pb (3/4)

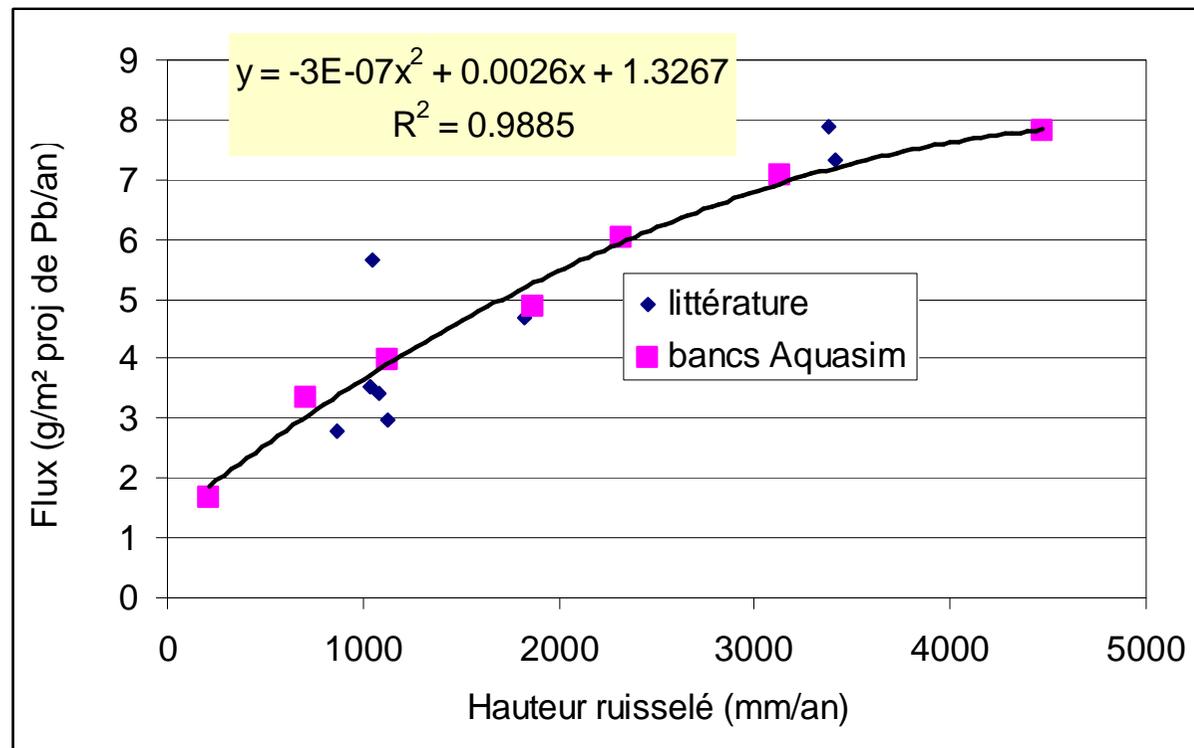
Concentration du plomb corrigée (mg/L) en fonction de la hauteur de pluie ruisselée



Concentrations émises très importantes (max 9,2 mg/L)
Concentrations \searrow quand hauteur d'eau ruisselée \nearrow

Résultats – Focus sur les données Pb (2/4)

Corrélation linéaire entre le flux de plomb (g Pb/m²projeté/an) émis sur les différents bancs d'essais des études et la hauteur de pluie ruisselée (mm/an)



Flux émis dépend de la quantité d'eau qui a ruisselé sur le Pb
Plus volume eau ↗, plus émission Pb ↗

Conclusion



- Des outils expérimentaux en vraie grandeur opérationnels pour le suivi des émissions en Pb et Zn sur des éléments singuliers de toiture
- Émissions en Pb
 - Concentrations et flux émis dépendent de l'emplacement sur toitures
 - Modèle satisfaisant pour relier le flux annuel en fonction des conditions d'emplacement mais pas de modèle pour trouver variabilité interévénementiel
- Émissions en Zn : faible émission par les descentes, résultats à confirmer

Merci de votre attention



Observatoire des Polluants Urbains
Séminaire thématique
13/04/2015



Modélisation des flux annuels de micropolluants émis dans les eaux de ruissellement :

contribution au développement d'un modèle source/flux
et application au cas des métaux et HAP

Petrucci, Gromaire, Chebbo

Contexte - objectifs

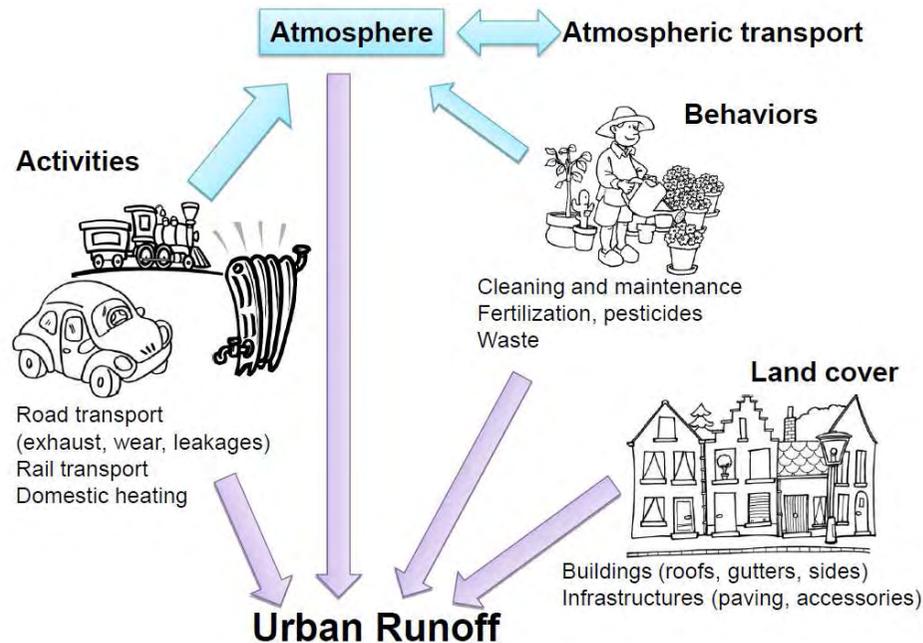


Objectifs de l'analyse source / flux:

- Identifier les sources primaires prioritaires pour chaque polluant
- Identifier les principales lacunes dans les connaissances/données (directions de recherche)

Méthodologie

- Exploiter les BD urbaines et bibliographiques (synthèse/harmonisation de connaissances et données diversifiées)



- Construire une méthode simple de quantification des flux annuels de polluants émis vers les eaux de ruissellement
- Evaluer l'incertitude associée

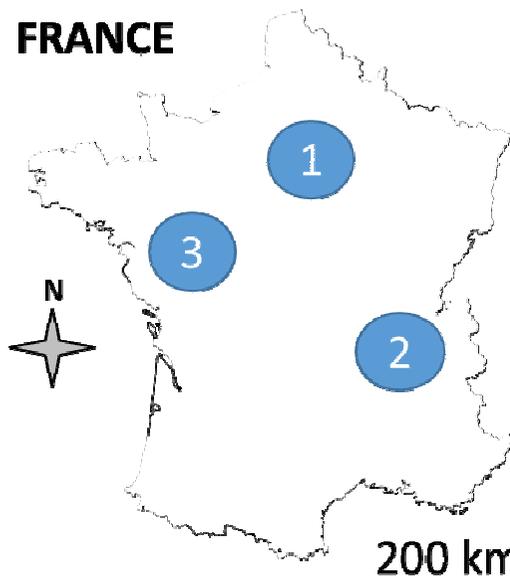
Méthodologie

Application

- Quatre polluants : Cu, Pb, Zn, HAP
- Trois sites : Sucy, Chassieu, Pin Sec

	Surface	Imperm.	Typologie
Sucy-en-Brie (Région parisienne)	228 ha	21%	Pavillonnaire
Pin Sec (Nantes)	31 ha	49%	Pavillonnaire + collectif
Chassieu (Grand Lyon)	185 ha	72%	Industriel

FRANCE



(1) Sucy



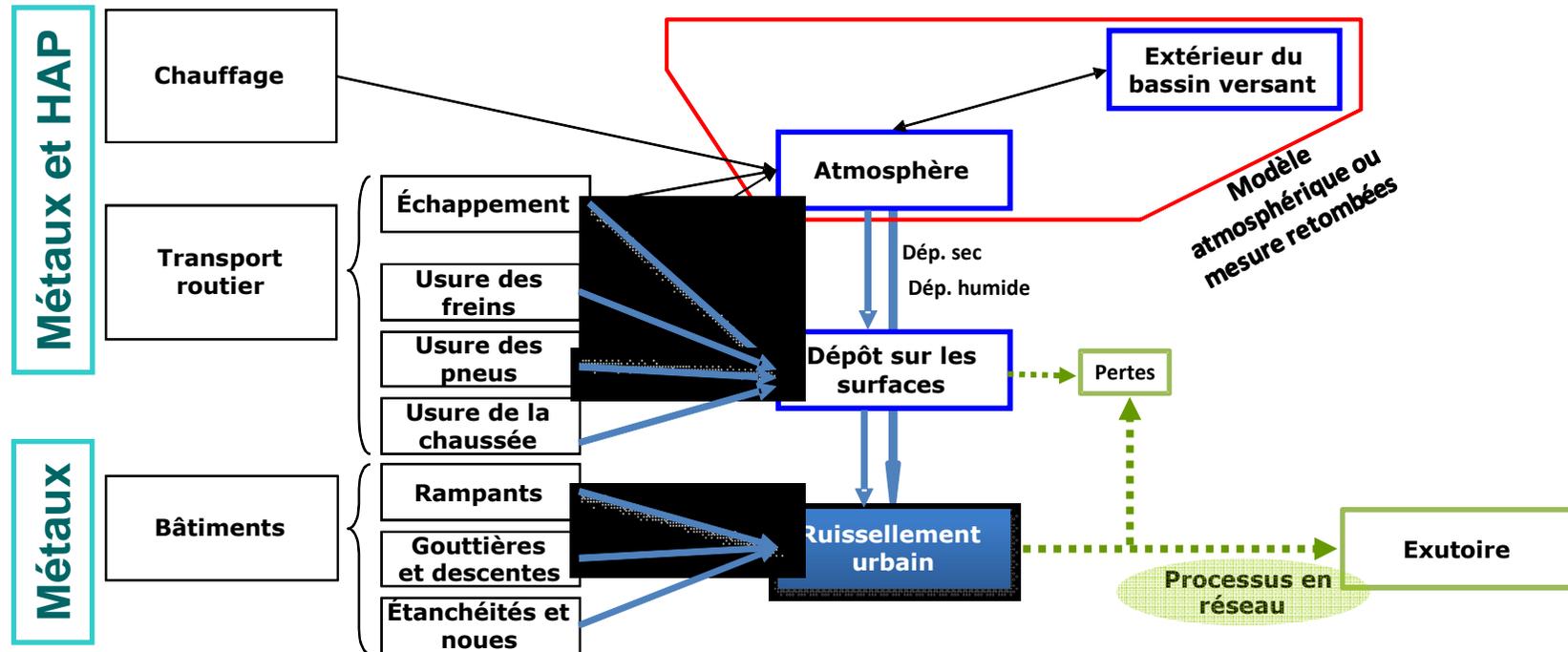
(2) Chassieu



(3) Pin Sec



- Les sources considérées



Exemple de quantification des sources : trafic

- Pour chaque source (freins, pneus, etc.)

Volume de
trafic annuel

Usure

Concentration
du polluant

$$E_{sol} \text{ (kg an}^{-1}\text{)} = T \text{ (v km an}^{-1}\text{)} \times U \text{ (kg (v km)}^{-1}\text{)} \times C \text{ (kg/kg)} \times f_{sol} \text{ (\%)}$$

Emissions annuelles
déposées sur les
surfaces urbaines

Fraction se
déposant au sol

- Et en disposant de l'incertitude associée à chaque facteur, on peut la propager au résultat...

Exemple de quantification des sources : trafic

- Facteurs d'émission par les plaquettes de frein
 - Des données biblio éparses et hétérogènes
 - Pas d'exploitation statistique possible
 - Approche = calcul d'une valeur médiane et construction d'un intervalle de confiance à partir des données littérature

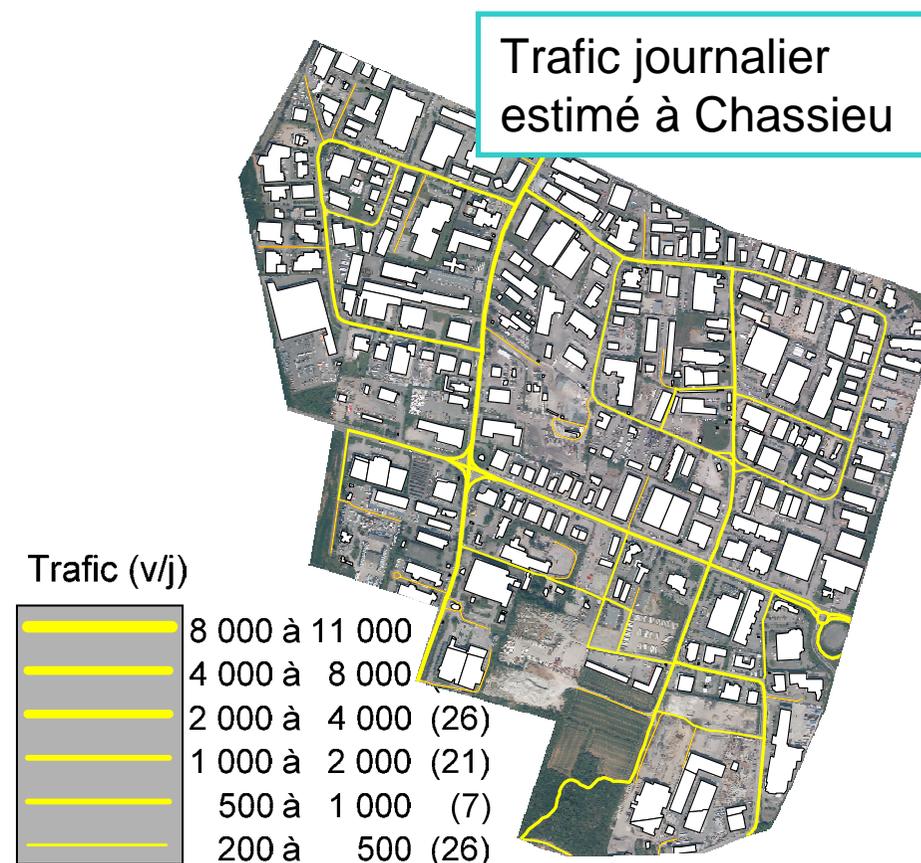
		Unités	Min	Max	γ	μ	Cv
Contenu	Cu	ppm	13000	110000	87%	61500	53%
	Pb	ppm	130	630	95%	380	33%
	Zn	ppm	13000	37000	87%	25000	32%
Usure	Voitures	mg/(km*v)	16	33	95%	25	17%
	PL	mg/(km*v)	47	80	87%	64	17%
Fraction vers le sol		%	20	60	87%	40	33%

Exemple de quantification des sources : trafic

- Quantification du volume de trafic annuel à partir de mesures et valeurs standards par classe de voirie

Estimations sur les trois sites

	Sucy	Chassieu	Pin Sec
Trafic total (10^6 v km/an)	21,52	13,12	3,72
Poids lourds (10^6 v km/an)	0,35	1,04	0,06
Trafic journalier par m² imperméable (v km/(j ha))	1228	270	679



Exemple de quantification des sources : éléments métalliques des toitures (*Sucy uniquement*)

- Échantillon de 88 pavillons (4% du total)
- Identification visuelle des éléments métalliques des toitures
- Extrapolation à l'ensemble du bassin versant
 - Calage d'une loi surface/linéaire pour gouttières et descentes
 - Distribution de fréquence des surfaces d'étanchéité (Pb et Zn)

Distribution des matériaux pour gouttières et descentes

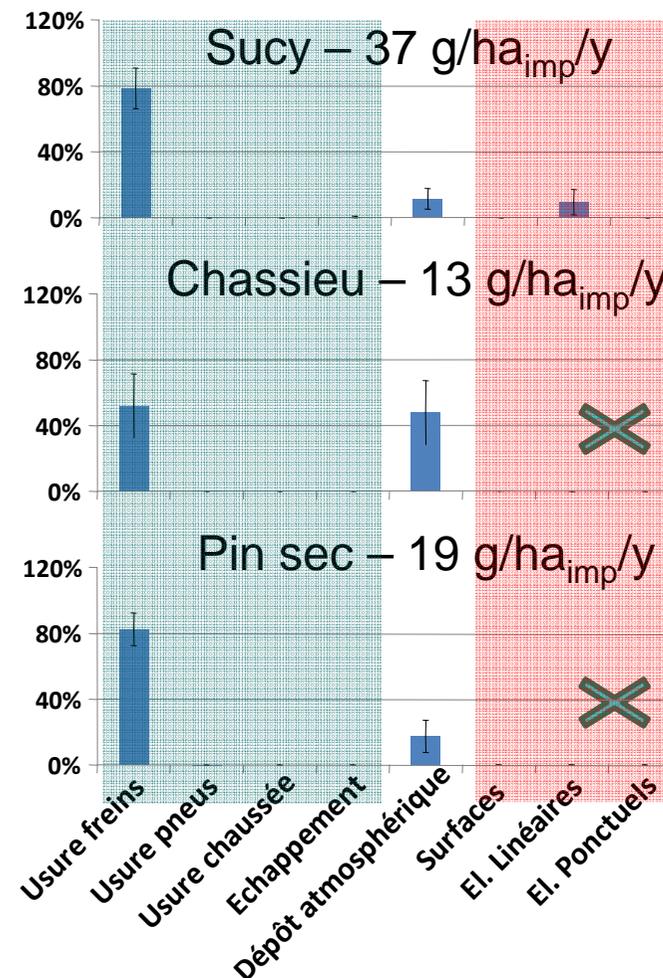
	f	Longueur totale (m)	Cv
Zinc	58.7%	54882	10%
PVC	26.1%	24426	19%
Cuivre	3.2%	3016	63%
Zinc et PVC non identifié	8.7%	8142	37%
Aluminium	1.9%	1809	81%
Fonte	1.0%	905	116%
	0.3%	302	201%



Résultats

Cuivre

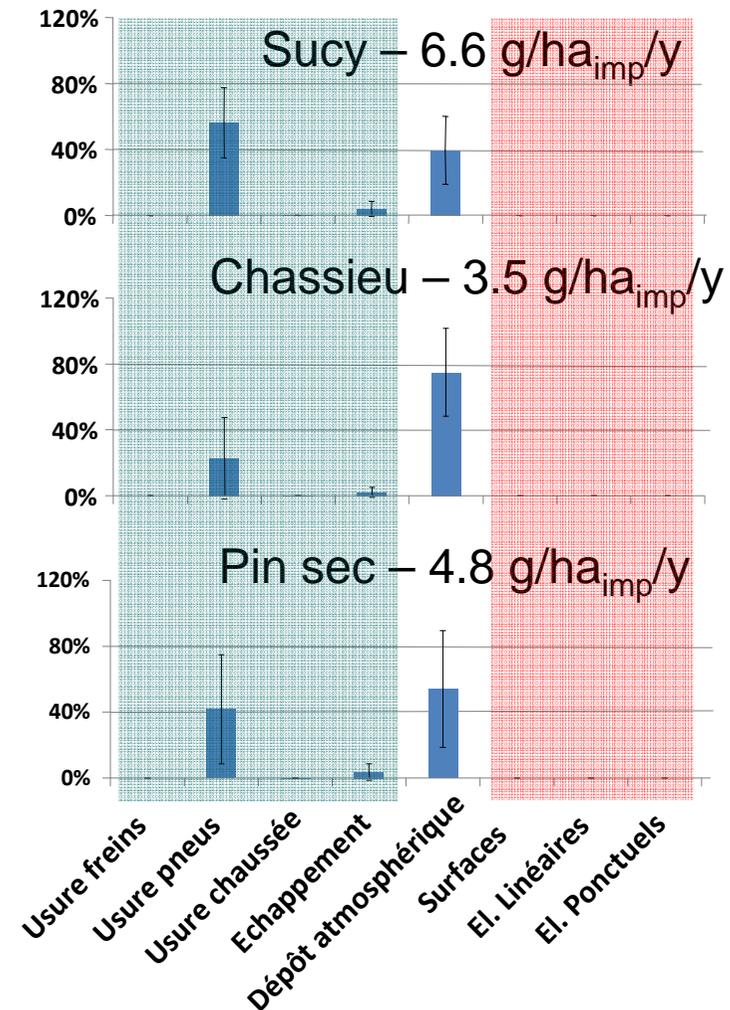
- Source prioritaire = trafic (freins)
- Chassieu :
 - trafic \approx apports atmosphériques
 - rapport trafic / surfaces imperméables beaucoup plus faible en raison de la forme urbaine (grandes parcelles imperméabilisées)
- Sucy:
 - 3% de gouttières en cuivre = 10% du Cu, elles peuvent être source majeure si elles sont la norme



Résultats

HAP

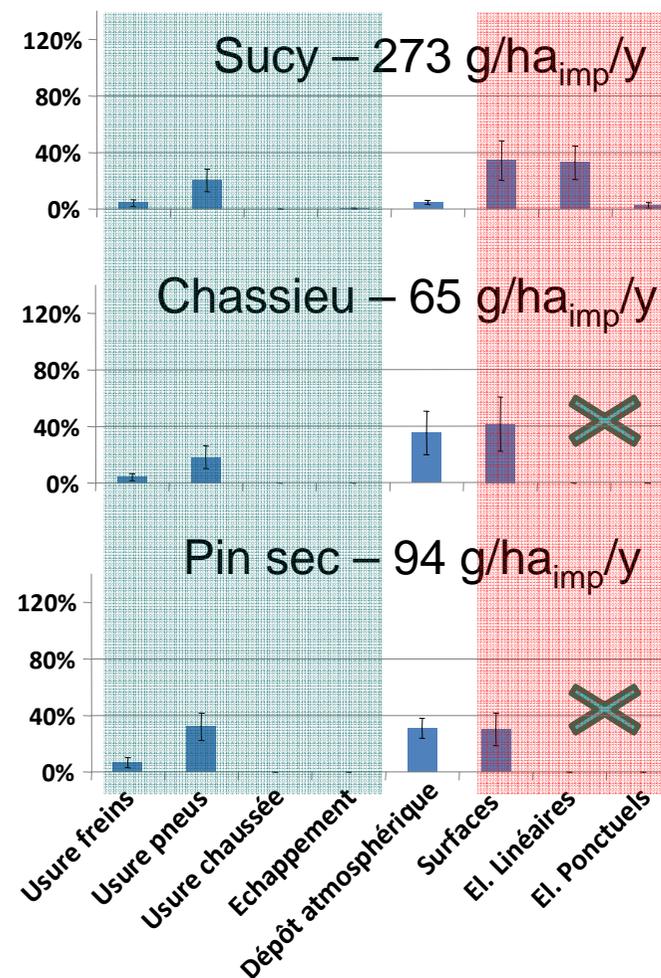
- Comportement similaire au Cu: sources principales sont trafic (usure pneus) et dépôt atmosphérique
- Rapports inversés entre Sucy et Chassieu (Pin Sec intermédiaire) en raison du rapport trafic / imperméabilisation (haut à Sucy, bas à Chassieu)



Résultats

Zinc

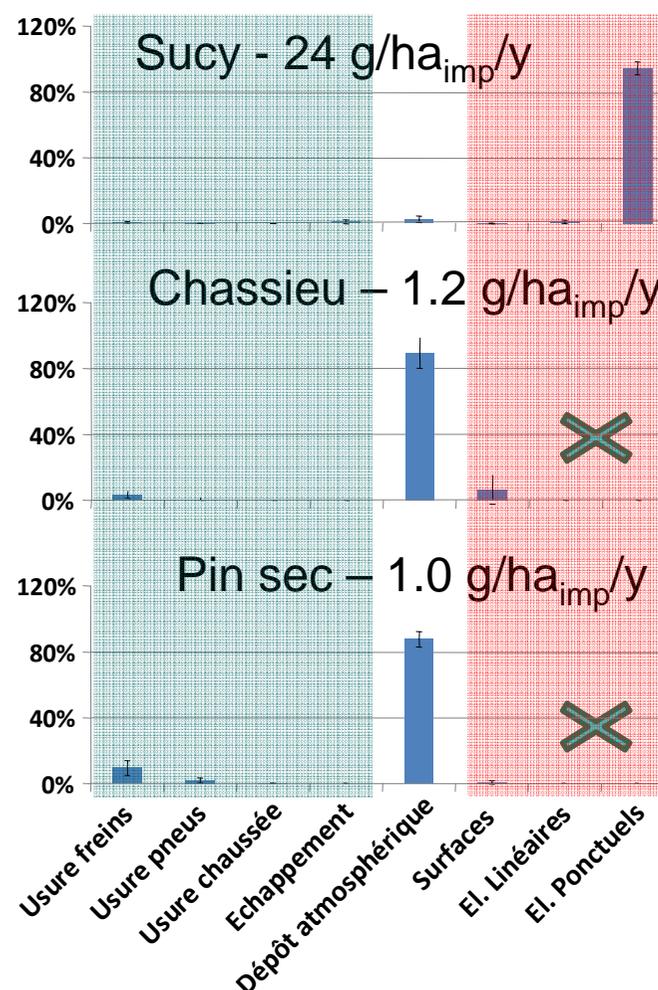
- Sources principales : toits en zinc, usure des pneus, retombées atm. (surtout à Chassieu)
- Toits en zinc peu répandus sur ces BV mais source prioritaire
- Sucy : gouttières et descentes émettent environ 36% du Zn !



Résultats

Plomb

- Sucy : 94% du Pb émis par les éléments d'étanchéités et autres éléments métalliques des toits !
- Les autres émissions (freins, carburants) ont été éliminée par les réglementations des dernières décennies, mais ces éléments des bâtiments restent une source significative très peu quantifiée



Conclusions



- Résultats principaux:
 - Résultats cohérents entre les 3 BV
 - Mise en évidence de descripteurs à explorer: trafic/surface imp.
 - Comportements différents suivant le contaminant
- Cohérence avec les flux à l'exutoire pour les métaux (ratio stable)
- Intérêt de l'analyse sources/flux:
 - Identifier sources prioritaires -> orienter les actions préventives/curatives
 - Identifier les lacunes -> orienter les actions de recherche futures (facteurs d'émission représentatifs du parc automobiles, éléments singuliers, apports atmosphériques spatialisés)

« Sources et flux de micropolluants dans les eaux pluviales »

Action 2.2: Méthode générale d'évaluation des flux de
contaminants de toitures à l'échelle urbaine.
Développement à partir du cas du zinc à Créteil

Présentation des résultats de la thèse soutenue par Emna Sellami-Kaaniche
(Direction: G. Chebbo, B. de Gouvello, M-C. Gromaire)

Les toitures: de multiples contaminants

Toitures = Source non négligeable de contaminants

- **Métalliques** : Zn, Pb, Cu ... (Gromaire-Mertz *et al.*, 1999; Odnevall Wallinder *et al.*, 1998; Robert-Sainte, 2009)

Toit en cuivre



Cu, Al, Zn...

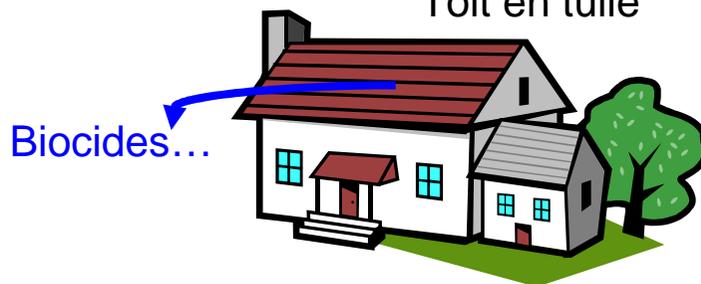
Toit en zinc



Zn, Ti, Cu...

- **Organiques** : Biocides, mécoprop, Pesticides... (Van de Voorde, 2012; Burkhardt, 2011)

Toit en tuile



Biocides...

Terrasse végétalisée (TTV)

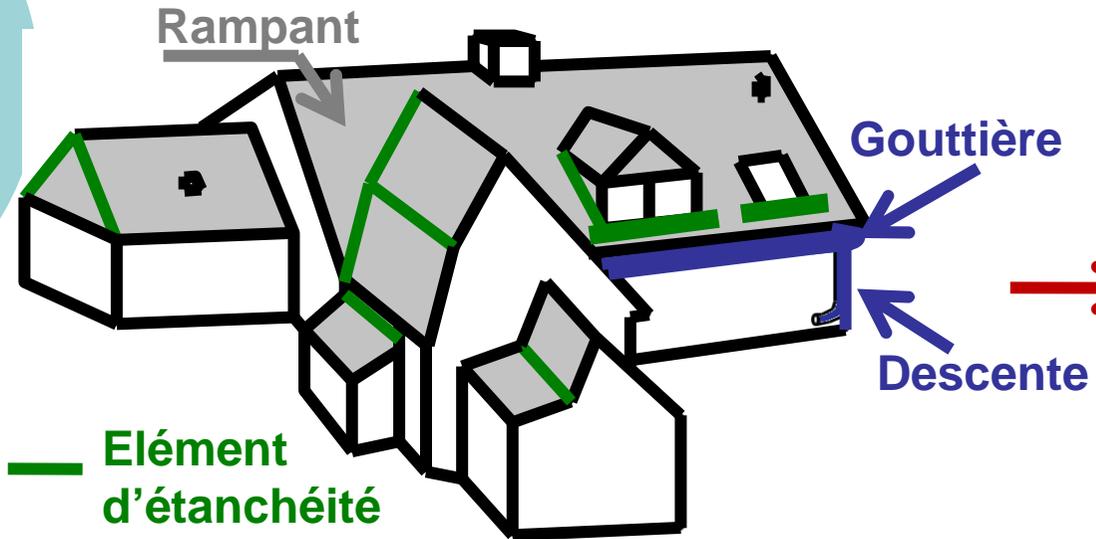


Mécoprop...

→ **Nécessité d'évaluer les flux de contaminants émis par les matériaux de toitures à l'échelle urbaine**

Les toitures: de nombreux éléments différents

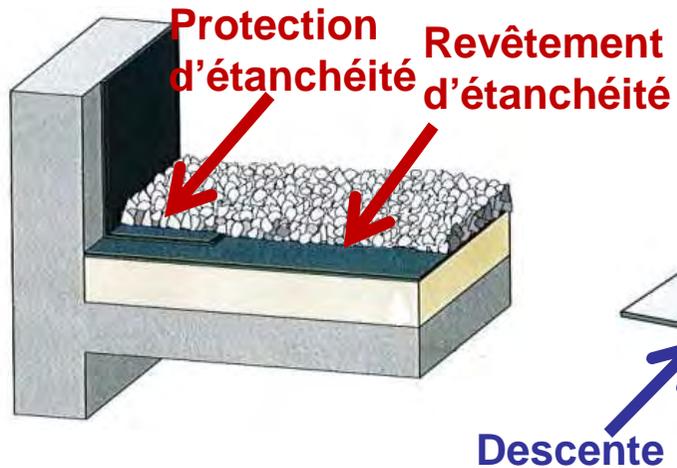
Toiture inclinée :
pente > 15%



Couverture

Matériaux
≠

Toiture – Terrasse
: pente < 15%



Etanchéité

Objectif de la thèse



Développer une méthode générale opérationnelle d'évaluation des flux moyens annuels de contaminants issus des ruissellements des matériaux des différents éléments de toiture à l'échelle urbaine



Enjeux associés

- Recherche: orienter les travaux futurs de production de données pour la modélisation à l'échelle urbaine.
- Opérationnel: fournir des éléments pour des politiques de réduction des émissions des contaminants par les toitures

Démarche retenue

- Emission de contaminant : phénomène lié au bâtiment
- Complexité de l'échelle urbaine



Démarche pluridisciplinaire

Sources

- Base de données d'occupation du sol
- Base de données d'images aériennes
- Dires d'experts
- Données scientifiques et techniques
- Données réglementaires
- Données historiques

Exploitation
Intégration



Outils

- Entretiens et enquête de terrain
- Outils statistiques
- Systèmes d'informations géographiques
- Traitement d'image
- Analyses historiques
- Etude des réglementations
- Elaboration de règles de décision

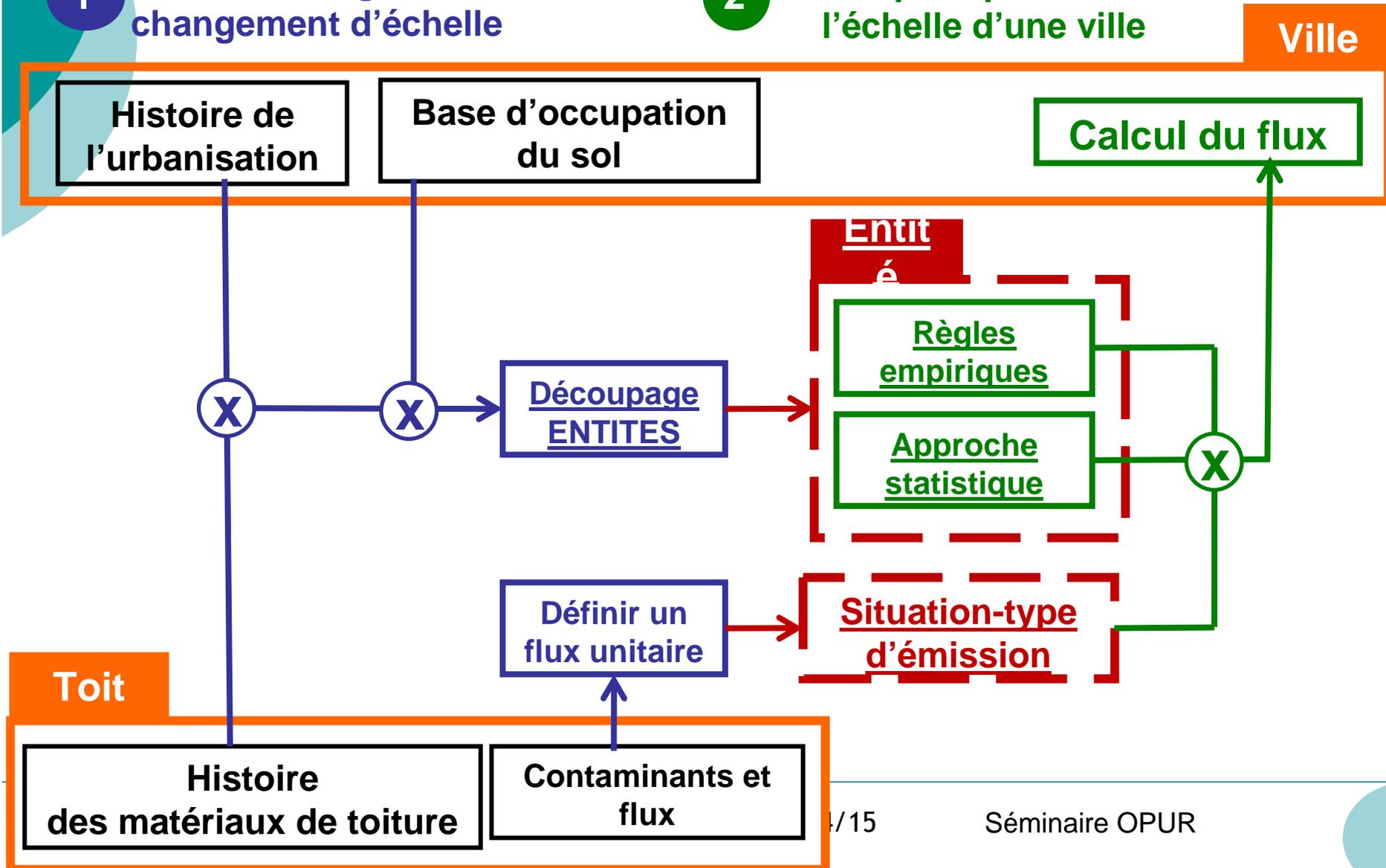
Méthodologie développée

1

Méthodologie de changement d'échelle

2

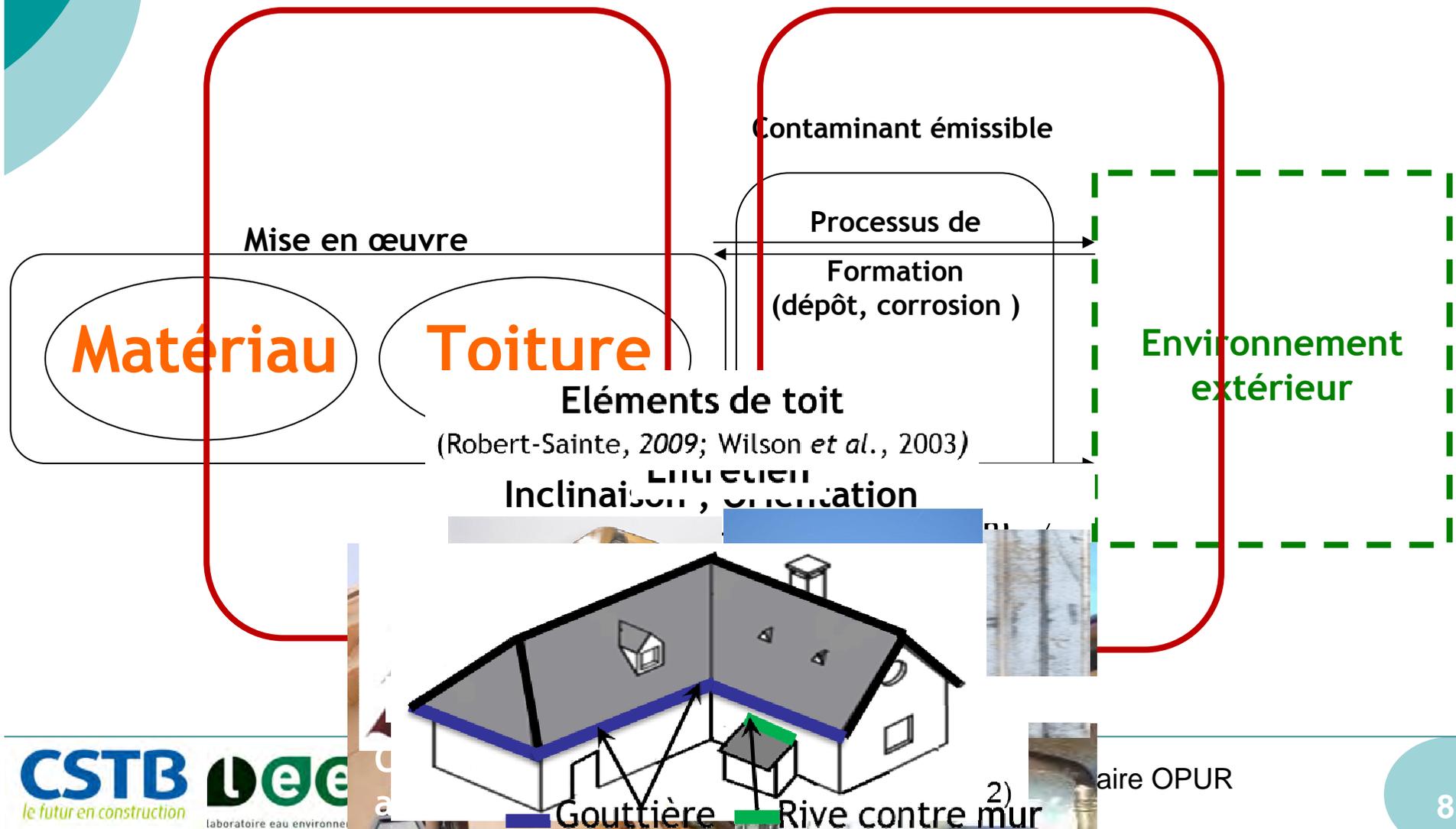
Calcul pratique du flux à l'échelle d'une ville



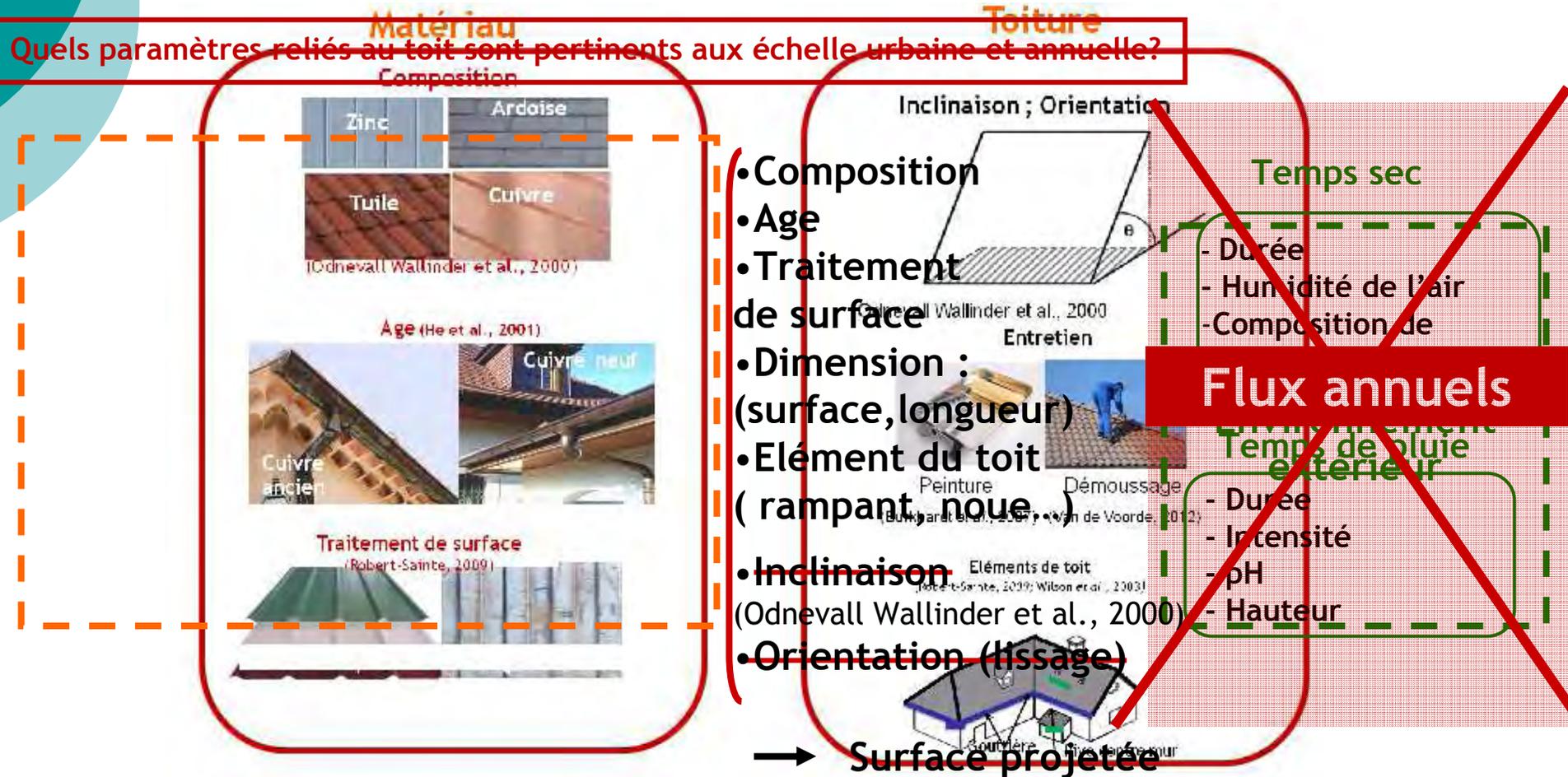
Définition

Cas **élémentaire** d'émission d'un contaminant caractérisé par son **appartenance** à un **matériau**, sa **localisation** sur le toit, un **flux unitaire moyen annuel** (exprimé en mg/m²/an ou (mg/ml/an)

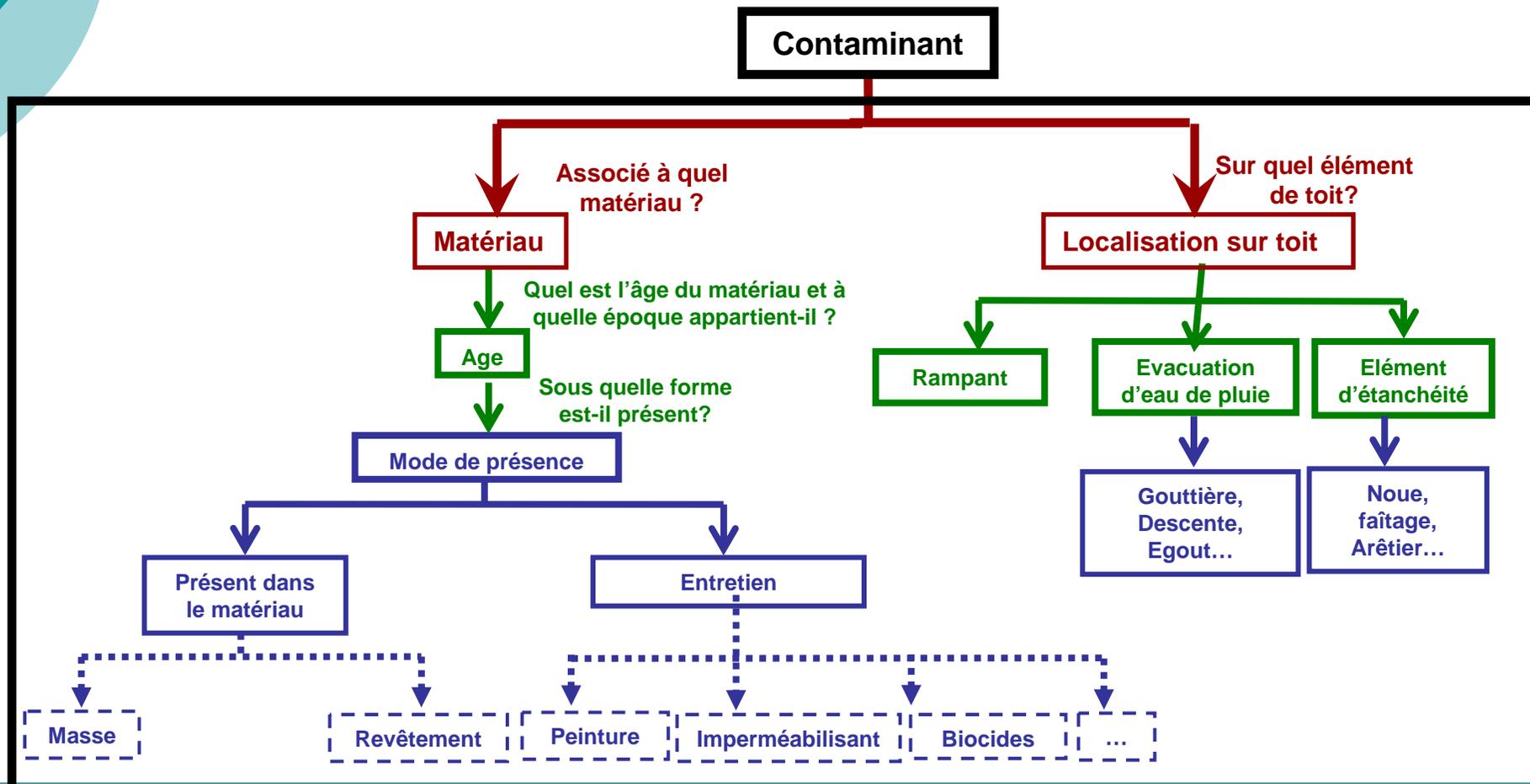
Situation-type d'émission d'un contaminant



Situation-type d'émission d'un contaminant



Identification pratique des situations-types



Situations-types associées au zinc



- Matériaux de **rampants** : flux existent (Robert-Sainte, 2009)
- Matériaux de **gouttières** : flux existent (Robert-Sainte, 2009)
- Matériaux de **noues** : flux approximés par ceux de la gouttière
- Matériaux des **éléments d'étanchéité** : émission du zinc est d'ordre 2 + difficulté de l'évaluation de leur longueur à grande échelle (une diversité importante)
- Matériaux de **descentes** : absence de flux – approximation impossible

- Le flux d'émission F_C d'un contaminant C par les matériaux de toiture :
- somme des émissions de toutes ses situations-types
 - situation-type (ST) : son flux unitaire (f) et sa dimension (D) pour un matériau

$$F_C = \sum_{i=ST} f_i \times D_i$$

Ou encore

$$F_C = \sum_{i=\text{matériau}} \left(\sum_{j=\text{élément toit}} (f_{i,j}) \times D_{i,j} \right)$$

- $D_{i,j}$: la dimension peut être une surface (m^2) ou une longueur (m) de l'élément du toit
- $f_{i,j}$: flux unitaire pour un matériau localisé sur un élément du toit, il peut être en $g.m^{-2}.an^{-1}$ ou en $g.ml^{-1}.an^{-1}$.



Nécessité d'évaluer la quantité de matériau des différents éléments de toiture à l'échelle urbaine

Définition

Classe de bâtiments localisée historiquement et spatialement à une échelle urbaine donnée

Propriété

A une entité correspond une **répartition propre des matériaux de toiture**

→ Permet de décomposer un espace urbain en zones homogènes/toitures

Découpage de l'échelle urbaine en entités

(i) Périodisation

Tableau chronologique des matériaux de toitures

Histoire urbaine

X

SIX Périodes historiques caractérisées chacune par une répartition spécifique de matériaux de toitures

Période n°1 : Avant la révolution industrielle (avant 1850)

Période n°2 : La révolution industrielle (~ 1850-1918)

Période n°3 : Après la première guerre mondiale (~ 1918-1945)

Période n°4 : Les trente glorieuses (~ 1945-1974)

Période n°5 : ~ (1974 – 2000)

Période n°6 : ~ (2000-2013)

Découpage de l'échelle urbaine en entités



(II) Création de classes de bâtiments ad hoc

13 CLASSES DE BATIMENTS

- Habitat individuel
- Habitat collectif
- Habitat autre
- Activité secondaire
- Bureau
- Surface commerciale
- Entrepôt logistique
- Equipement santé
- Transport
- Enseignement
- Equipement administratif
- Equipement culturel
- Sport

Regroupement des MOS de même signature d'utilisation de matériau de toit »
Dires des experts + Etude marché

Classes de bâtiments retenues

Découpage de l'échelle urbaine en entités

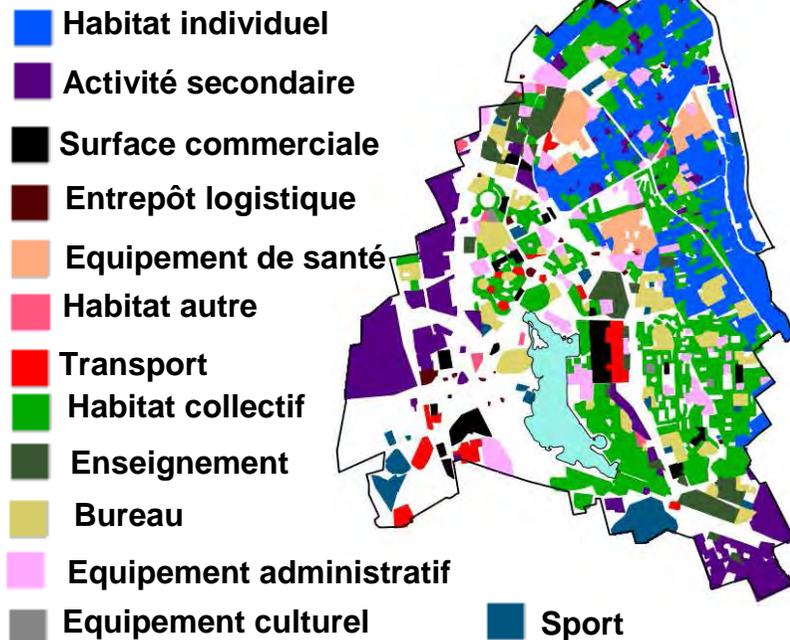
(iii) Spatialisation: cas de la ville de Créteil

Réorganisation de la base MOS IAU-IDF

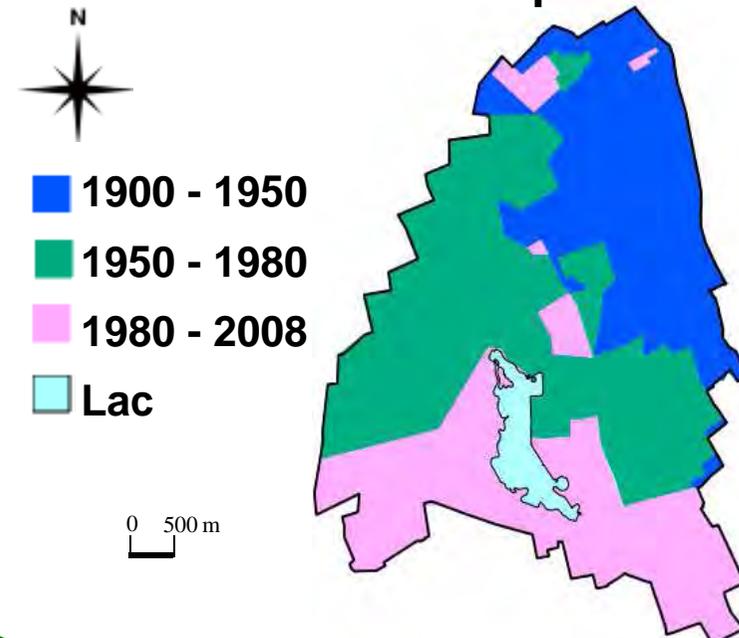
Etude urbaine
-Entretiens acteurs (X)
-Archives...
-Règlement : PLU...

Périodes histoire urbaine / matériaux de toiture

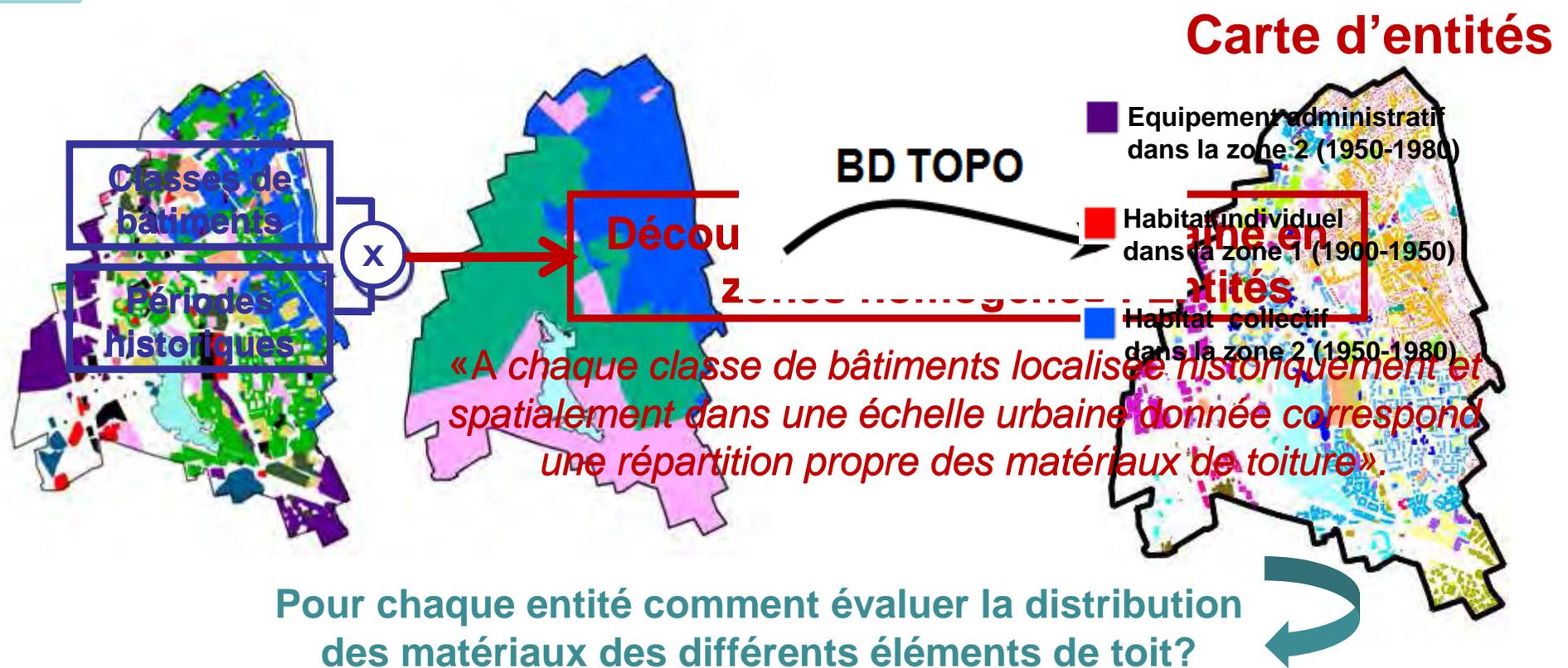
Carte de classes de bâtiments



Périodes historiques



Découpage de l'échelle urbaine en entités



Règles empiriques de quantification des matériaux des différents éléments de toit



— BD-TOPO

Echelle entité

Familles de matériaux de rampants et longueurs des éléments de toit avec une **approche statistique**

Règles de passage de la famille des matériaux au matériau de rampants

Distribution des matériaux de rampants

Règles de corrélation entre la famille des matériaux de rampants et le matériau d'un élément de toit

Distribution des matériaux des différents éléments de toit

Règles empiriques de quantification des matériaux des différents éléments de toit

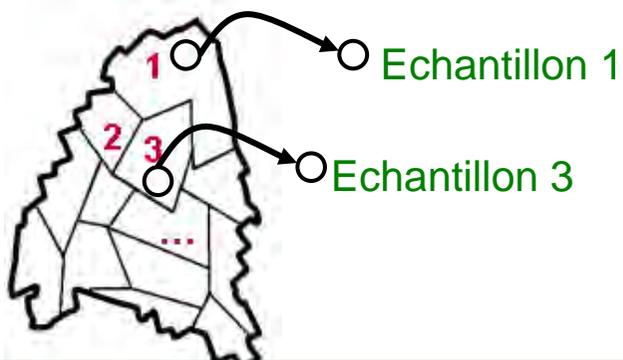


- **Collecte de données pour l'élaboration des règles**
 - Entretiens avec experts des matériaux de toiture : *Formulation des règles*
 - Enquête (commerciaux, couvreurs) : *Validation ou invalidation des règles formulées*
- **Classification des experts interrogés**
 - Classification par rapport à leurs professions
 - Type I : Experts internes aux fabricants industriels leaders du matériau
 - Type II : Professionnels de la mise en œuvre ou de la commercialisation
 - Type III : Experts des fabricants non leaders du matériau
 - Catégorisation par rapport : profil de l'expert, le cadre de la collecte de l'information et la famille des matériaux
 - *Catégorie 1 : Expert fiable (EC1)* : Type I entretien semi-directif d'une durée minimale d'une heure + matériau qu'il fabrique
 - *Catégorie 2 : Expert moyennement fiable (EC2)* : Type I + matériau concurrent; Type I (commerciaux); Type II + un recul par rapport à un matériau donné
 - *Catégorie 3 : Expert peu fiable (EC3)* : Type III (commerciaux); Type II + discours potentiellement erroné

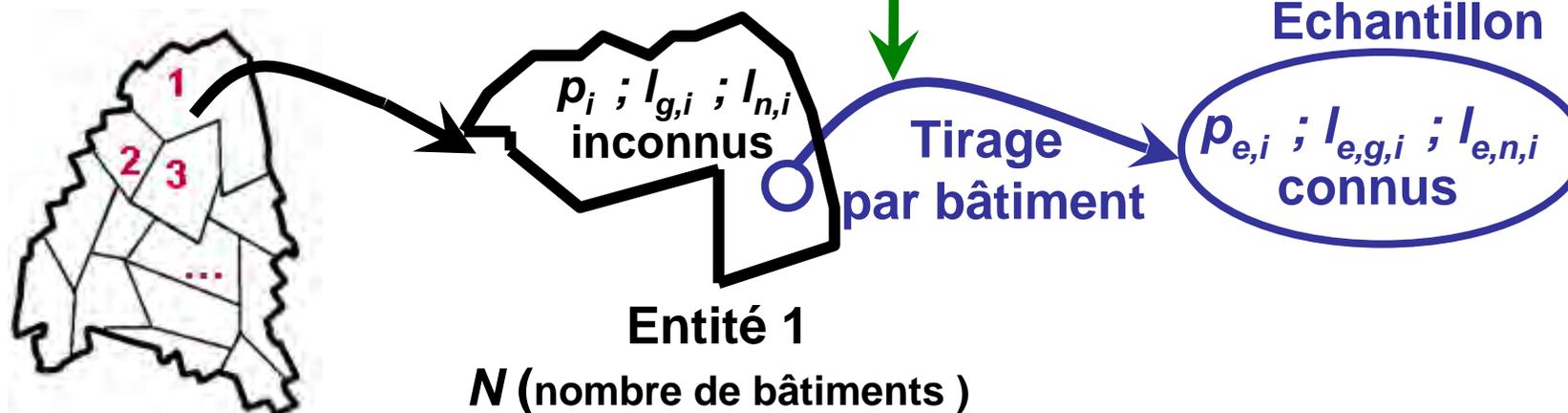
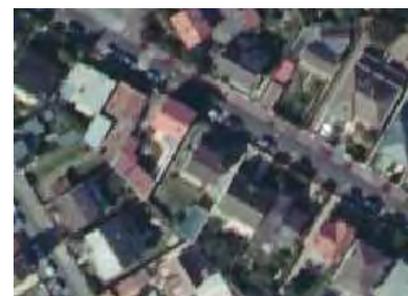
Quantification des surfaces et des longueurs des familles de matériaux (rampants, gouttières et noues)

- Principe de l'approche statistique

Echantillonnage stratifié

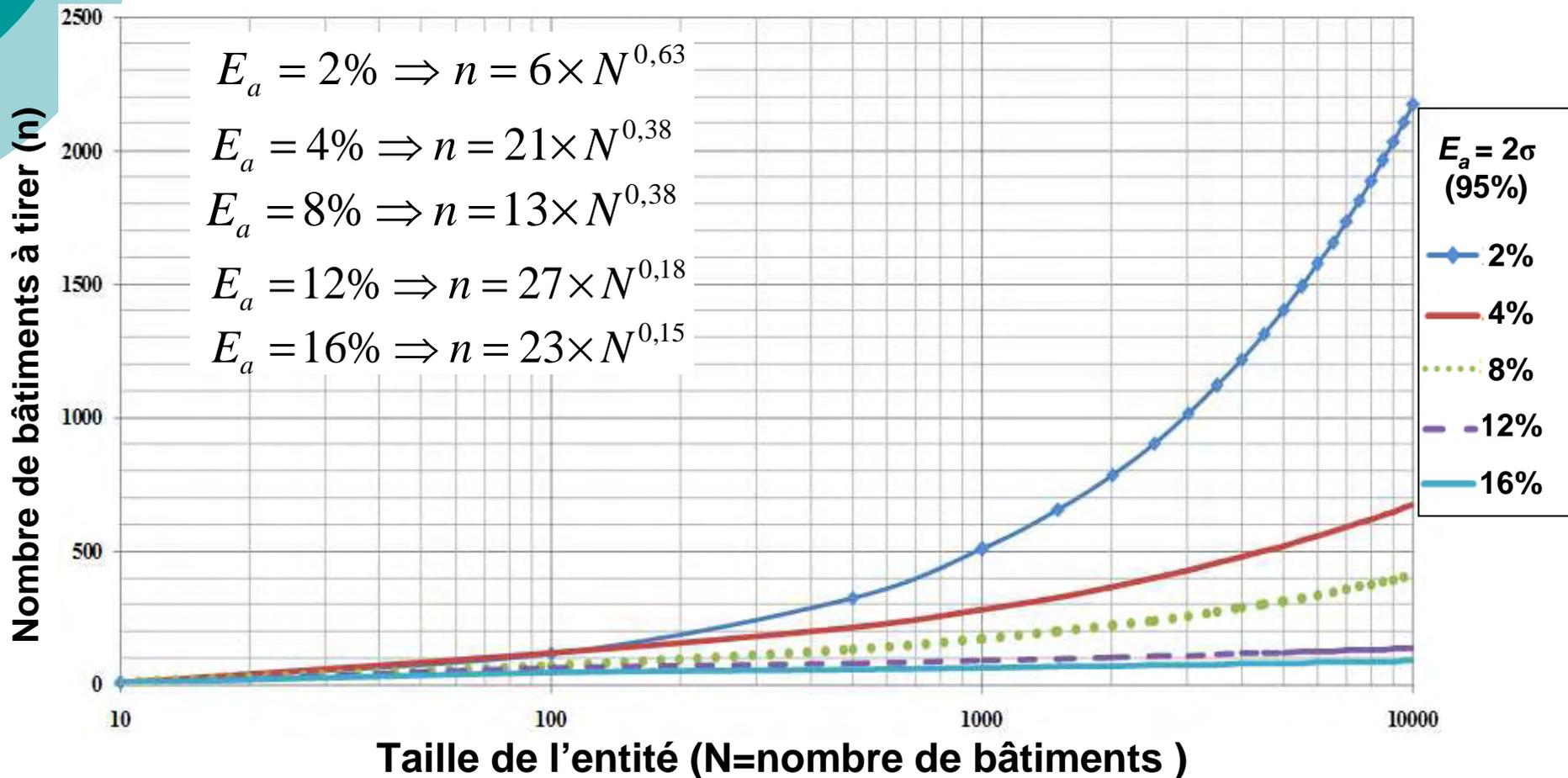


Interprétation des matériaux de toiture à partir des images aériennes



Quantification des surfaces et des longueurs des familles de matériaux (rampants, gouttières et noues)

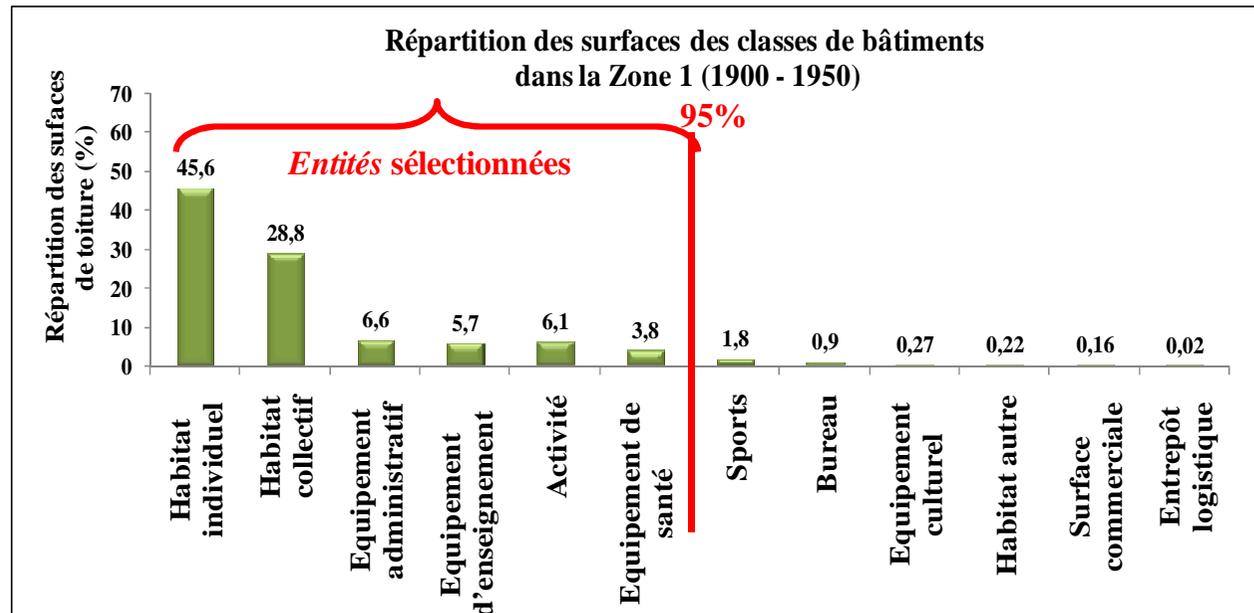
- Taille de l'échantillon de bâtiments à tirer



Evaluation du flux d'émission du zinc à l'échelle de la ville de Créteil

(i) Application de l'approche statistique

— Choix des entités



- Taille d'échantillonnage (courbe $E_a = 16\%$) : $n_i = 23 \times N_i^{0,15}$
- n_i : taille de l'échantillon à tirer d'une entité i
 - N_i : nombre de bâtiments d'une entité i



18% des toitures sont renseignées → un gain significatif

(ii) Répartition des matériaux (rampants, gouttières et noues)

→ Application des règles empiriques générales de quantification par zone historique

→ Si absence de règles :

- Application **principe majoration** : *Zone 1 (1900-1950)* : pas de distribution des matériaux de gouttières pour le rampant en ardoise

→ la répartition des gouttières est 95% du zinc naturel contre 5% du cuivre.

- **Utilisation des spécificités de la ville de Créteil**

Zone 1 (1900-1950) : habitants étaient des ouvriers qui habitaient dans des pavillons de toiture en tuiles

→ les gouttières sont à 100% du zinc naturel pour les toitures en tuiles

Evaluation du flux d'émission du zinc à l'échelle de la ville de Créteil



- Flux par m² de toiture : $F_{Zn} (Créteil) = 315 \pm 52,3 \text{ (mg.m}^{-2}\text{.an}^{-1}\text{)}$
- Flux du zinc issus des retombées atmosphériques : 34,2 mg.m⁻².an⁻¹

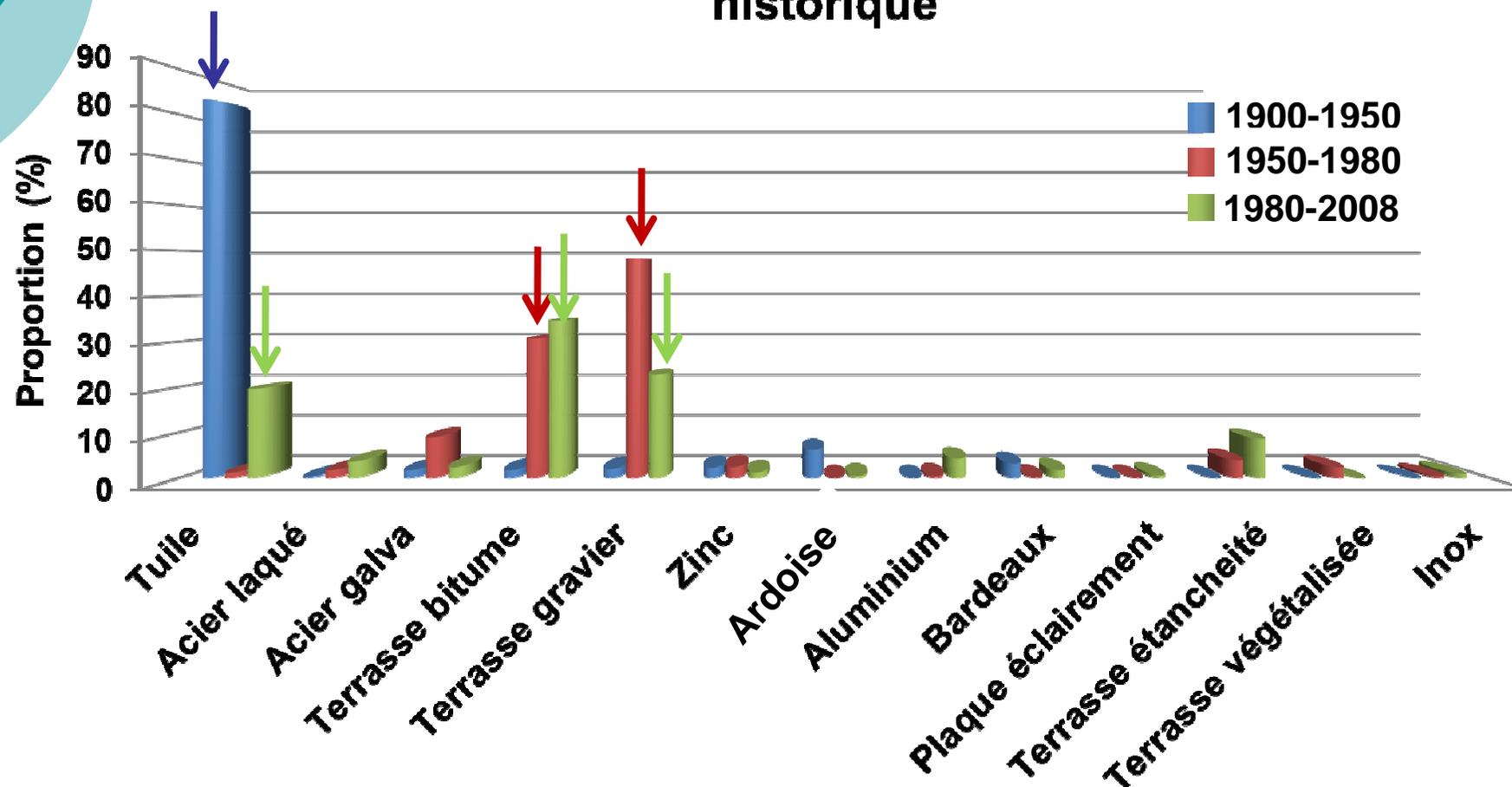
Variabilité de l'émission du zinc entre:

- les différentes zones historiques
- Les classes de bâtiments

→ Confirme l'intérêt de la notion d'entité

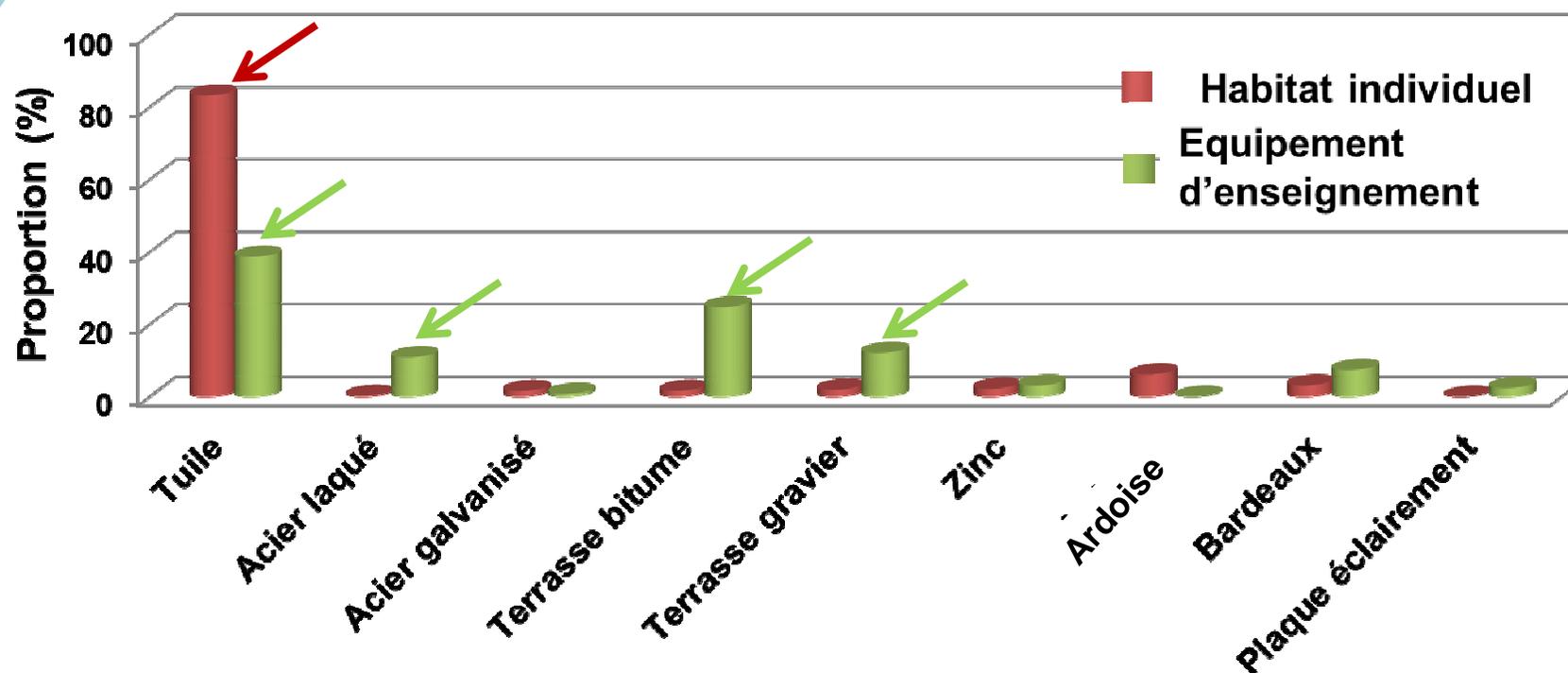
Evaluation du flux d'émission du zinc à l'échelle de la ville de Créteil

Variabilité de la distribution des matériaux par zone historique



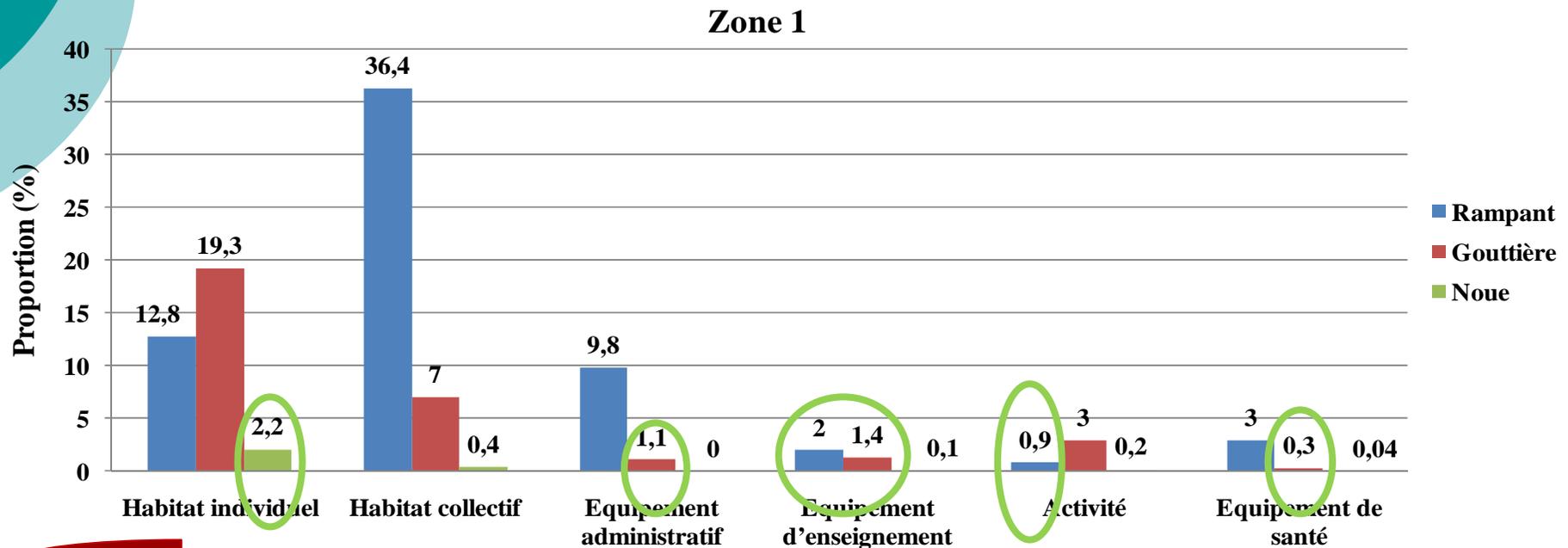
Evaluation du flux d'émission du zinc à l'échelle de la ville de Créteil

Variabilité de la distribution des matériaux par classe de bâtiments (1900-1950)



Evaluation du flux d'émission du zinc à l'échelle de la ville de Créteil

Distribution du flux du zinc entre rampant, gouttière et noue

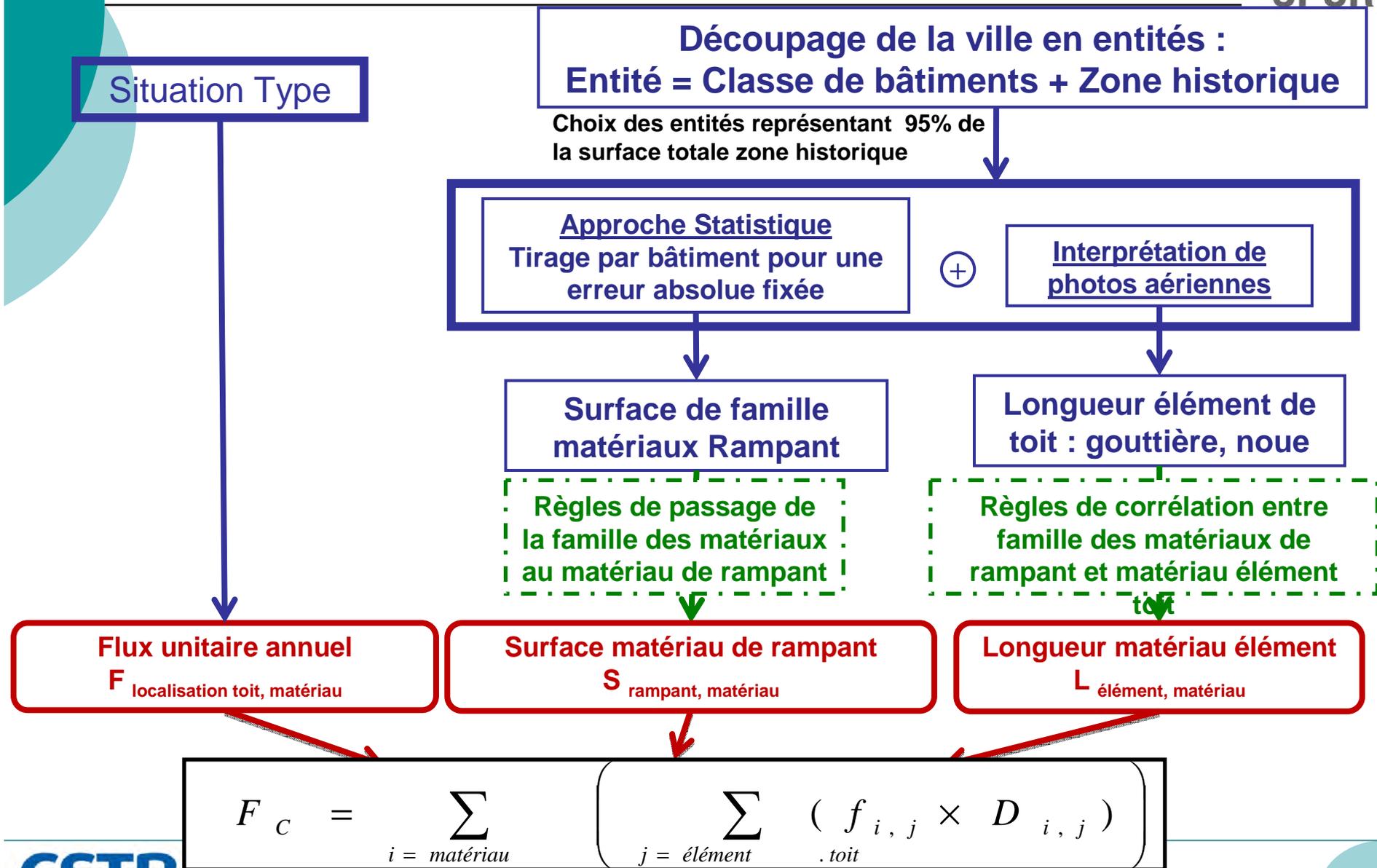


Conséquence pratique

- L'émission par les gouttières devra être évaluée pour toutes les classes de bâtiments
- Pour les noues, les classes à prendre en compte dans l'émission de contaminants sont « l'habitat individuel » et « l'habitat collectif ».

- **Méthode opérationnelle d'évaluation des flux applicable à tout contaminant et toute ville**
- **Le changement d'échelles se base sur deux nouveaux concepts clés :**
 - **Situation-type : ramener l'émission à l'échelle du toit sous forme de flux unitaire annuel moyen à l'échelle urbaine attribué à un ensemble d'éléments de toit ayant les mêmes caractéristiques**
 - **Entité : création de groupement homogène en termes de classe de bâtiments et de périodes de constructions**
- **La quantification repose sur l'utilisation**
 - **Approche statistique**
 - **Règles empiriques**

Conclusions (Sellami-Kaaniche et al, 2014)



(i) améliorations à apporter

- **Les règles de quantification**

- Absence de règles quantifiées → mener d'autres entretiens ciblés avec des experts (fabricants, étancheurs) des matériaux de toit en question
- Règles existantes :
 - Règles de classe A sont considérées comme validées
 - Règles B et C nécessitent un travail de validation, voire de correction : élaborer une analyse de sensibilité croisée avec un travail d'enquête.

- **L'approche statistique**

Etendre cette méthode statistique pour calculer les longueurs de descentes et des éléments d'étanchéité.

(ii) application « dérivée »

- **Calcul du potentiel de végétalisation des toitures en ville:**

- projet Terraces
- Etude TV-SSD

Merci de votre attention !



Observatoire des Polluants Urbains
Séminaire thématique
13/04/2015



Concentrations de micropolluants dans les eaux pluviales : synthèse des campagnes INOGEV

Gasperi J., Sebastian C., Ruban V., Delamain M., Percot S., Wiest L.,
Mirande C., Caupos E., Demare D., Diallo Kessoo M., Saad M., Schwartz
JJ., Dubois P., Fratta C., Wolff H., Moilleron R., Chebbo G., Cren C., Millet
M., Barraud S, Gromaire MC



Différentes études à l'échelle internationale et nationale

OTHU à Lyon (Becouze, 2010)

ONEVU à Nantes (Lamprea, 2009)

OPUR à Paris (Bressy 2010, Gasperi et al., 2012, Zgheib, 2009)

Intercomparaison délicate

Divergence sur les molécules suivies

Divergence des méthodologies et approches scientifiques/exp.

Divergence de protocoles et de sensibilités analytiques

**Qualité similaire des eaux pluviales selon le bassin versant ?
Influence occupation des sols, des activités ?**

Projet INOGEV

En harmonisant les approches scientifiques

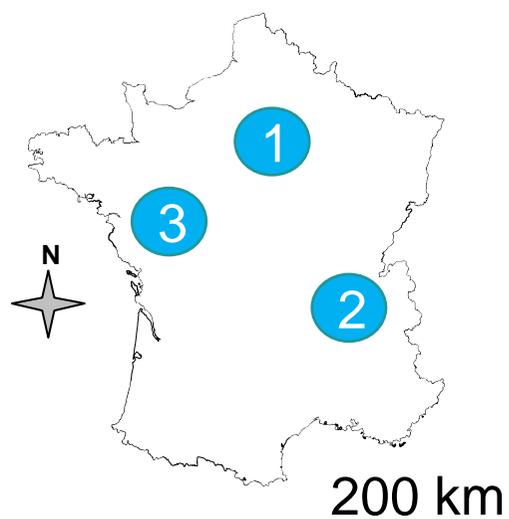
En homogénéisant les aspects expérimentaux

En suivant la même méthodologie d'interprétation des résultats

Quels objectifs ?

- 1) Evaluer la qualité des eaux pluviales pour un large panel de polluants (n=77) à l'échelle de 3 BV urbanisés
- 2) Déterminer si la qualité des eaux pluviales diffère sur ces bassins et analyser si le plan d'occupation des sols ou les activités sont responsables de ces différences,
- 3) Evaluer la contribution relative des apports atmosphériques et des sources locales de contamination (chaussées, bâtis) à la pollution des eaux pluviales

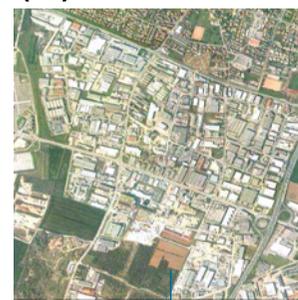
Matériels et méthodes – Sites d'étude



(1) Sucy



(2) Chassieu



(3) Pin Sec



Surface totale (ha)	228	185	30
Coeff d'imperm (%)	21	75	49
Occupation	Pavillonnaire	Industriel	Résidentiel
Surface imp	48	139	15
Trafic (véh.km/j)	60 000	36 000	10 000
Pluies collectées	24	7	18

Matériels et méthodes – Sites d'étude



(1) Sucy



(2) Chassieu



(3) Pin Sec



Retombées atmosphériques



Exutoire eaux pluviales



Quels paramètres ?

- Paramètres globaux (MES, COD, COP)
- Micropolluants (n=77)

Métaux
(n=14)



Flaconnage
plastique

HAP
(n=16)



Flaconnage
verre

Pesticides
(n=30)



F.
plastique

F.
verre

PBDE
(n=9)



Flaconnage
verre

BPA/APnEO
(n=8)



Flaconnage
verre

Pluies échantillonnées par familles (24 mois)

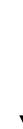
	Métaux (n=14)	HAP (n=16)	Pesticides (n=30)	PBDE (n=9)	BPA/APnEO (n=8)
Sucy (n=24)	8	8	7	12	12
Pin Sec (n=18)	15	7	8-9	7	7
Chassieu (n=7)	5	4	4	2	2

Effectifs plus ou moins importants



Difficultés
campagne de
mesure

Pour certaines familles,
nombre de pluie < 4



Difficultés dans
l'interprétation et la
représentativité

Pluies échantillonnées par familles (24 mois)

	H (mm)	Durée (hh:mm)	Imoy (mm.h ⁻¹)	Imax (mm.h ⁻¹)	PTS (jours)
Sucy (n=24)	1,2-38,6 8,43	00:35-26:20 06:52	0,43-3,77 1,48	2,4-24 7,92	0,17- 9,18 2,1
Pin Sec (n=18)	2,3-49,9 15,4	02:40-60:35 19:14	- -	2,4-28,8 11,4	0,19- 22,29 2,60
Chassieu (n=7)	2,4-50,0 18,8	03:07-31:38 14:31	0,8-1,7 1,2	4,7-22,7 12,2	0,2-9,8 2,8

Large gamme de
précipitation et durée

Evénements pluvieux de
faibles intensités

Molécules analysées (n=77)

**Métaux
(n=14)**

ICP-MS
ICP-AES

Total
Dissous



**HAP
(n=16)**

GC-Tof

Particulaire
Dissous



**Pesticides
(n=30)**

GC-MS
LC-MSMS
LC-Fluo

Particulaire
Dissous



**PBDE
(n=9)**

GC-MS

Particulaire
Dissous



**BPA/APnEO
(n=8)**

LC-MSMS

Particulaire
Dissous

Molécules analysées (n=77)

Métaux (n=14)

As, Cd,
Pb, Cr,
Zn, Cu,
Pt, Ni,
Ti, V, Sr,
Co, Mo,
Ba

HAP (n=16)

Acyl Pyr N P
F Chry B(a)A
B(b)F IP
D(ah)A Fluo
BP B(a)P A
B(k)F Ace

Pesticides (n=30)

PBDE (n=9)

28, 47, 99,
100, 153,
154, 183,
205, 209

BPA/APnEO (n=8)

BPA
OP
OP1EO
OP2EO
NP
NP1EO
NP2EO
NP1EC

Chlorfenviphos, Endosulfan A, deltamethrine, Diuron Isoproturon, Folpel, Epoxiconazole, Aldrine, Metaldehyde, Tebuconazole, Gly, AMPA, Dieldrine, Isodrine, Gly ammonium, Carbendazime, isothiazolinone, Irgarol, mecoprop, 2_4_D, 2_4_MCPA, terbutryne, acetochlore, trichlopyr, metazachlor, fenpropidine, diflufenicanil, chlorothalonil, pendimethaline, metolachlore

Prioritaire/Prioritaire dangereuse/Soumise à révision (Dir 2008/05/CE)

Exploitation des résultats

- PG vs. bases de données (NURP, QASTOR) → représentatif ?
- Paramètres globaux et micropolluants

(1) Occurrences et niveaux de conc



Sur valeurs disponibles
(distributions observées)

Sur distributions ajustées
(Test de Shapiro-Wilk, $\alpha = 0,05$)

(2) Différences entre BV



Comparaison paramètres sur distrib. ajustées
(Test de Kruskal-Wallis, $\alpha = 0,05$)

(3) Production RAT-exutoire



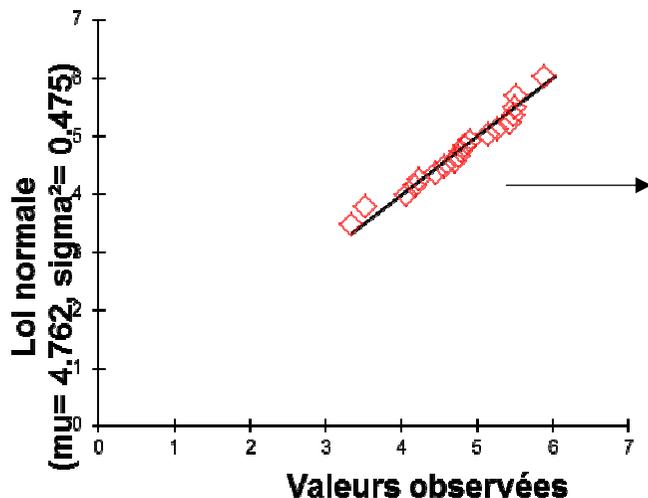
Ratio entre conc RAT / conc eaux pluviales

Exploitation des résultats

1) Distribution Log-normal

	PG (n=3)	Métaux (n=14)	HAP (n=16)	Pesticides (n=30)	PBDE (n=9)	BPA/APnEO (n=8)
Sucy	X	X	X	-	X	X
Pin Sec	X	X	X	-	X	X
Chassieu	X	-	-	-	-	-

[MES] – Sucy (n=24)



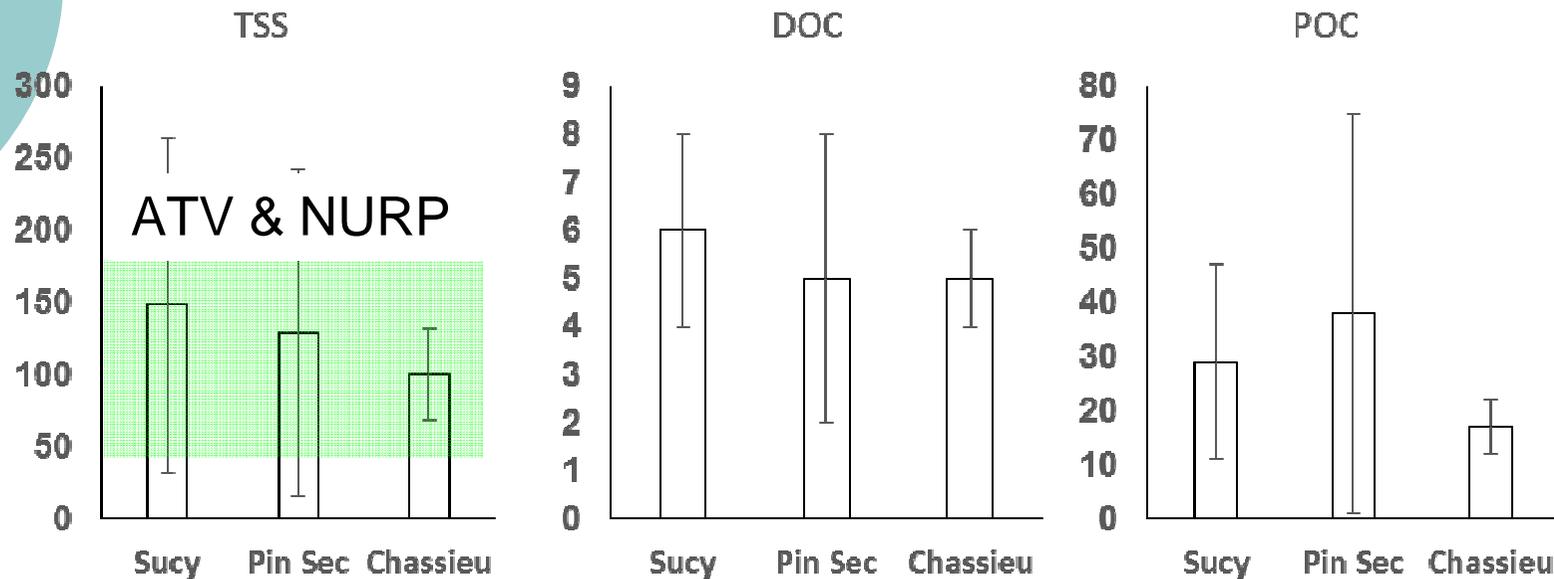
[MES] ± ET

Loi ajustée		Echantillon	
Moy	ET	Moy	ET
148	116	143	88

[MES] (Q20, Q50, Q80)
(Test de Shapiro-Wilk, $\alpha = 0,05$)

Résultats et discussions

Paramètres globaux (Conc moy \pm ET, mg/l)



100 < [MES] < 150 mg/l



Mesure turbidité
2004-2011
MES = 75 mg/l

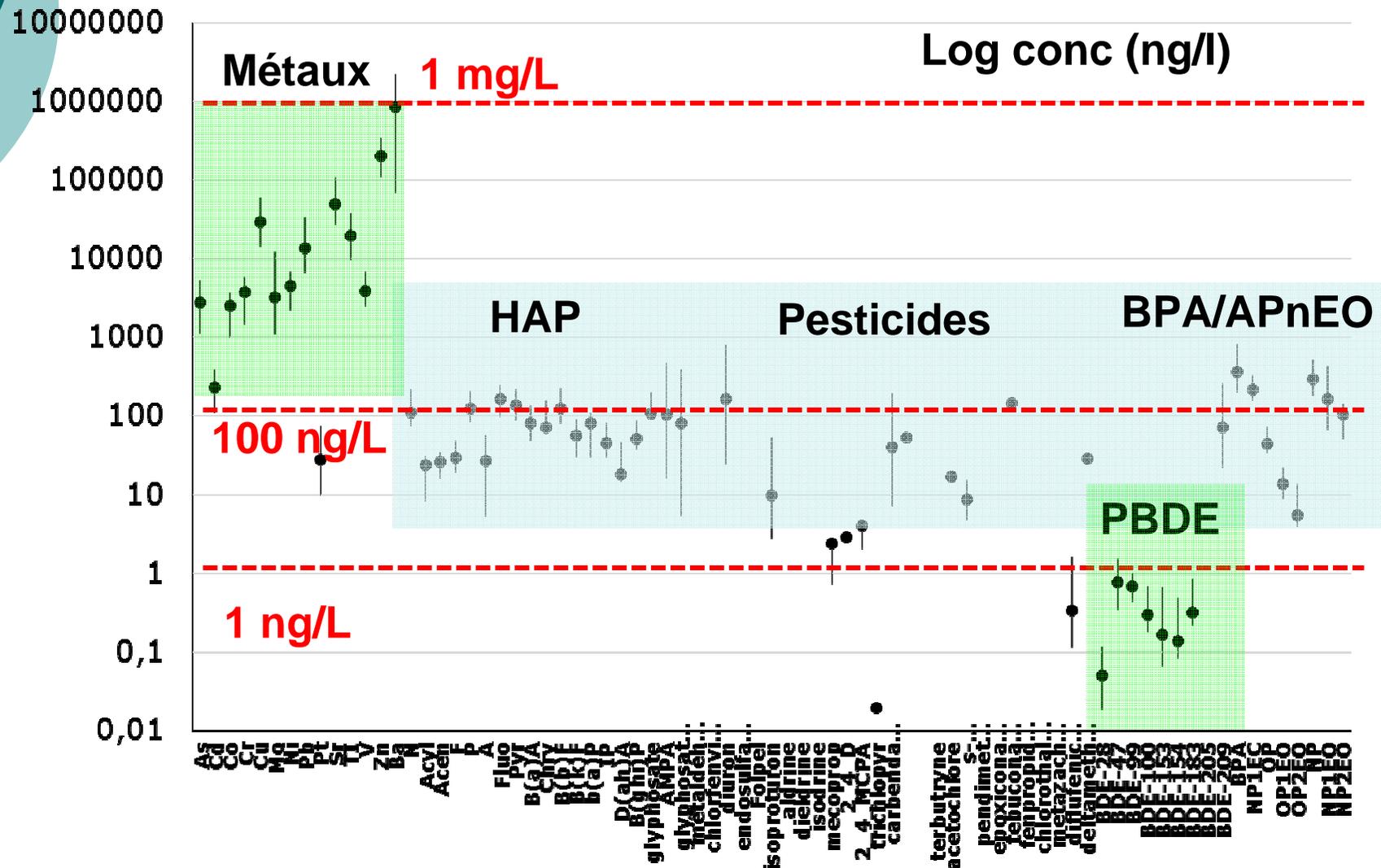
Métadier et Krajewski (2012)

Campagne de mesures
représentatives des eaux
pluviales

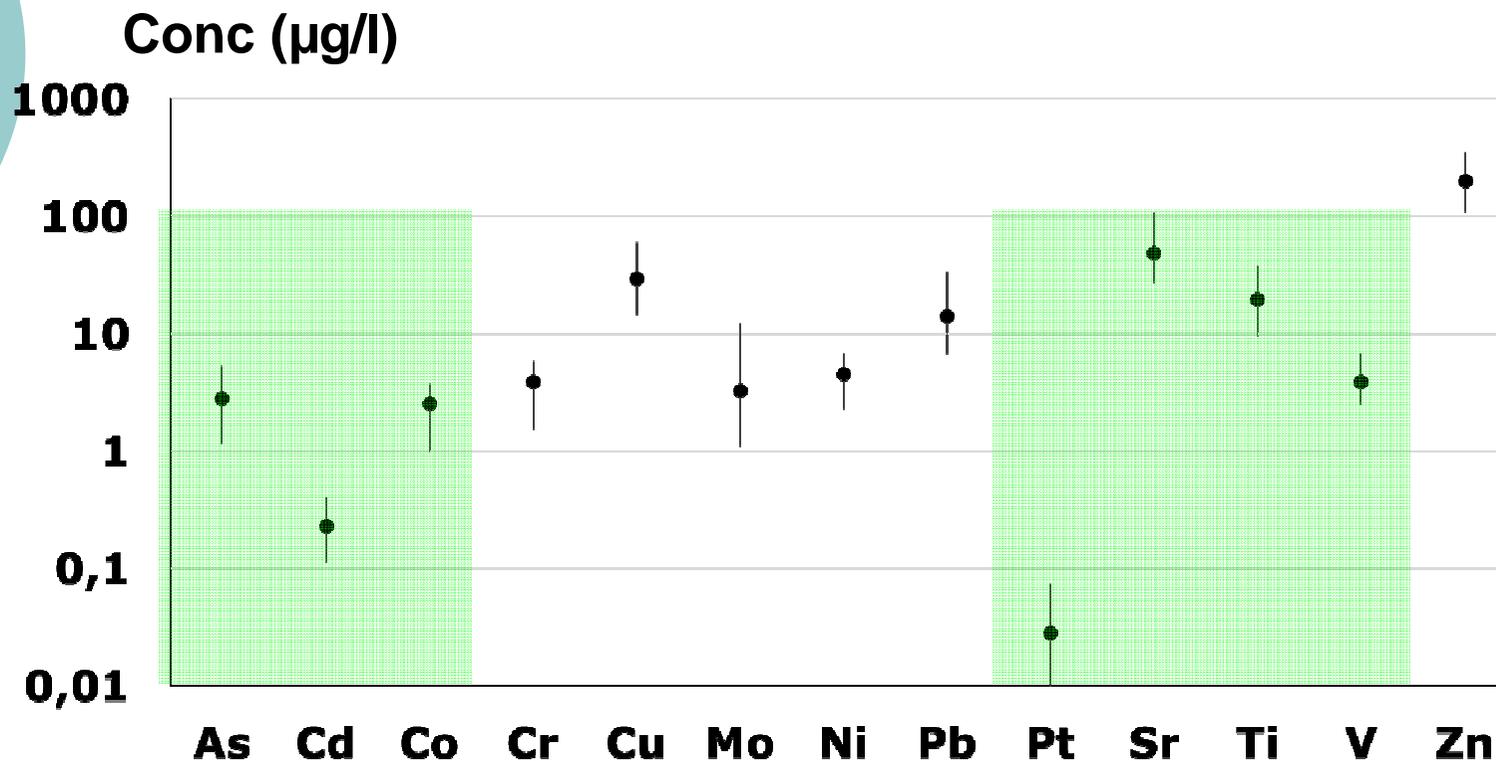
Pas de différence
significative
(Test de Kruskal, $\alpha = 0,05$)

Résultats et discussions

Photographie générale – Conc (Q20, Q50, Q80)



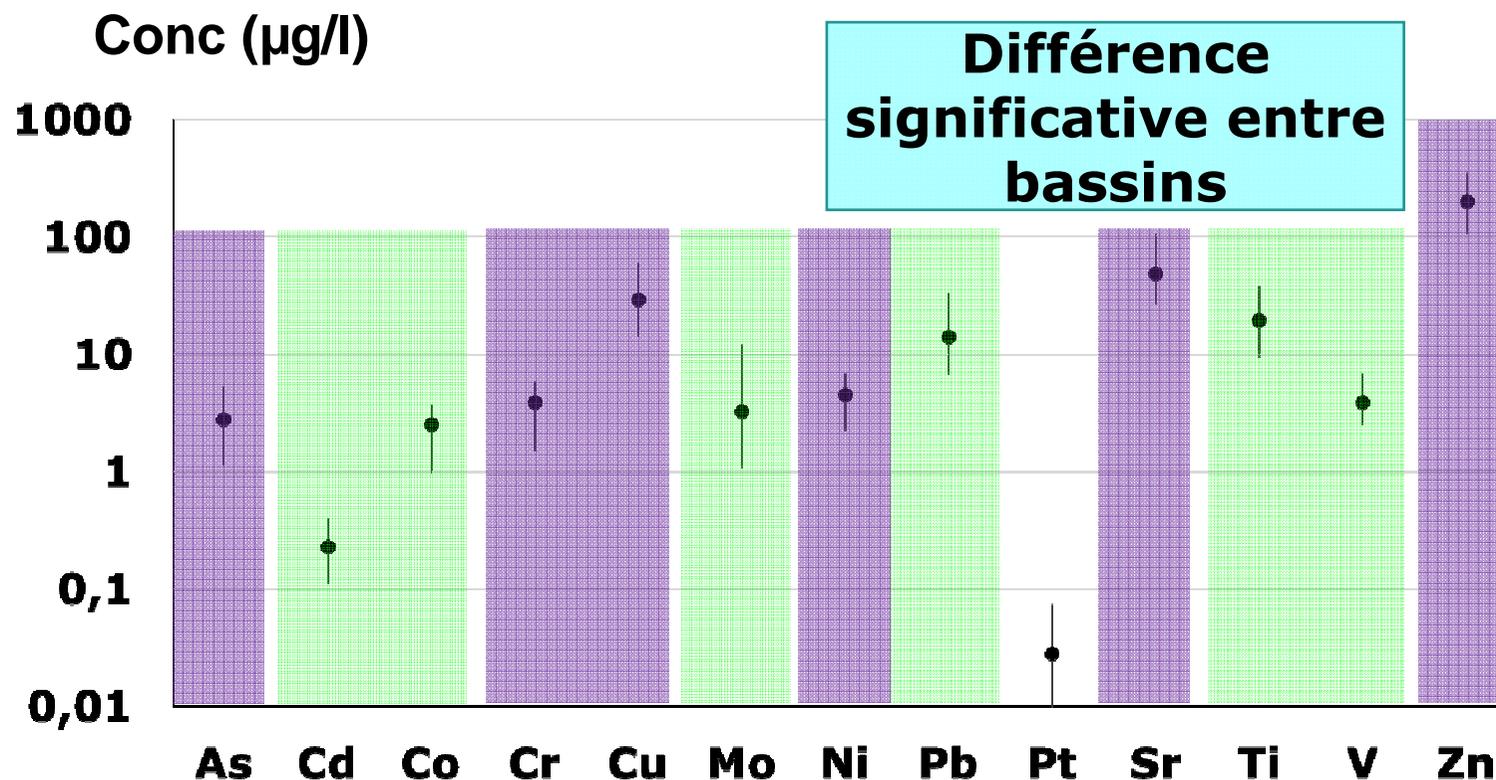
Focus métaux



- Métaux systématiquement détectés (sauf Co, Mo, Pt)
- Métaux peu documentés dans la littérature (3-4 références)
- Niveaux globalement comparables avec littérature (Rossi, 1998, NURP database, Sabin et al., 2003)

Résultats et discussions

Focus métaux



- 7 métaux : pas de différence (Sucy, Pin Sec et Chassieu)
- 6 métaux : différence (Sucy - Pin Sec et « Chassieu »)

Résultats et discussions

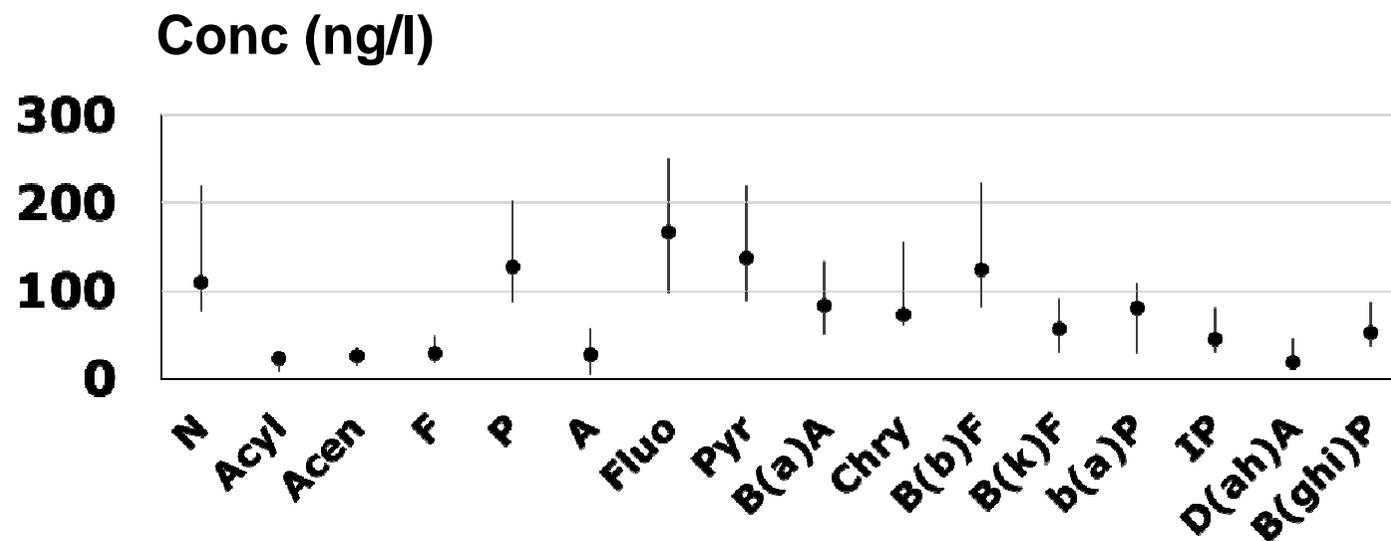
Focus métaux

Substances	Sucy (n=8)		Pin Sec (n=15)		Chassieu (n=5)	
	Moy	ET	Moy	ET	Moy	ET
As	1.18	0.80	4.04	2.70	0.88	0.66
Cr	3.55	2.54	1.95	1.46	6.20	5.00
Cu	38.00	28.41	14.87	11.33	34.62	29.19
Ni	2.88	1.97	3.14	2.28	6.64	4.53
Sr	112.83	79.62	28.98	29.46	51.40	34.17
Zn	212.35	145.08	126.34	87.06	239.78	196.77

Trafic routier
(Cu, Zn, Sr, Ti)
Abrasion plaquette frein
Érosion pneumatique
(Stermbeck et al., 2002)

Apports industriels
et
Trafic routier

Focus HAP

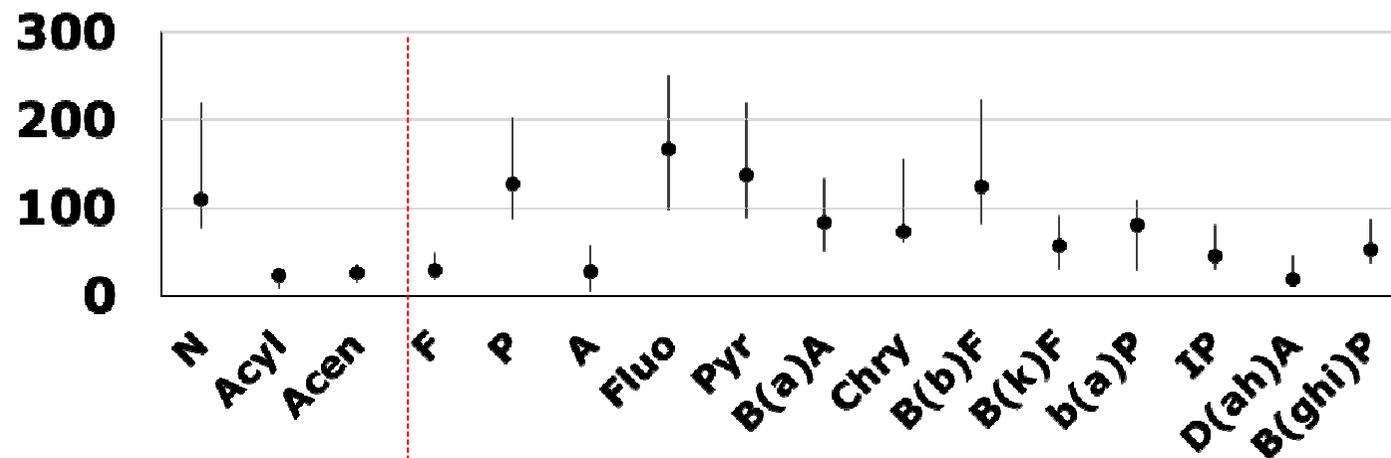


- HAP quasi-systématiquement détectés sauf D(ah)A, B(ghi)P, IP
- Contribution parfois importante composés volatils (N, Ace, Acyl)

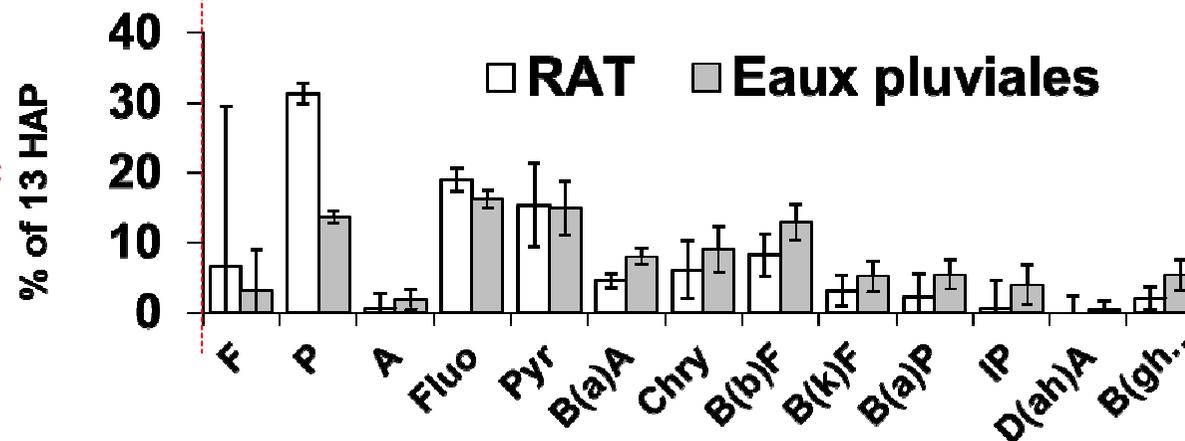
Résultats et discussions

Focus HAP

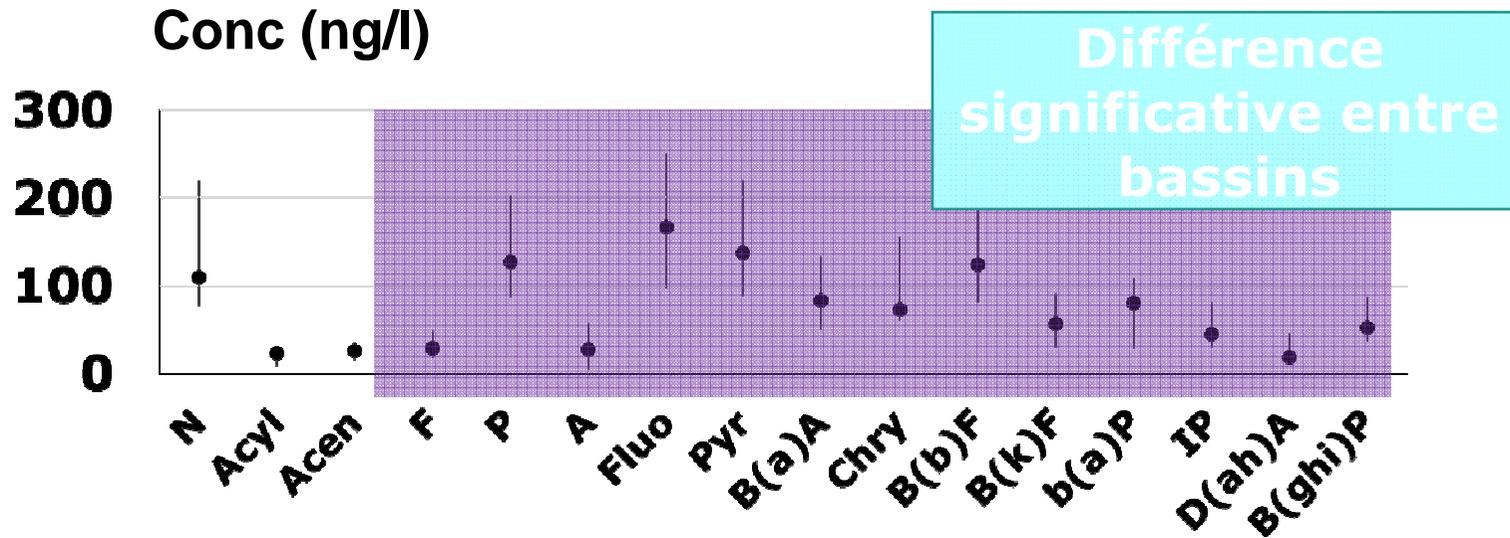
Conc (ng/l)



Enrichissement HAP
lourds
(4-6 cycles)
Apports liés au trafic
automobile

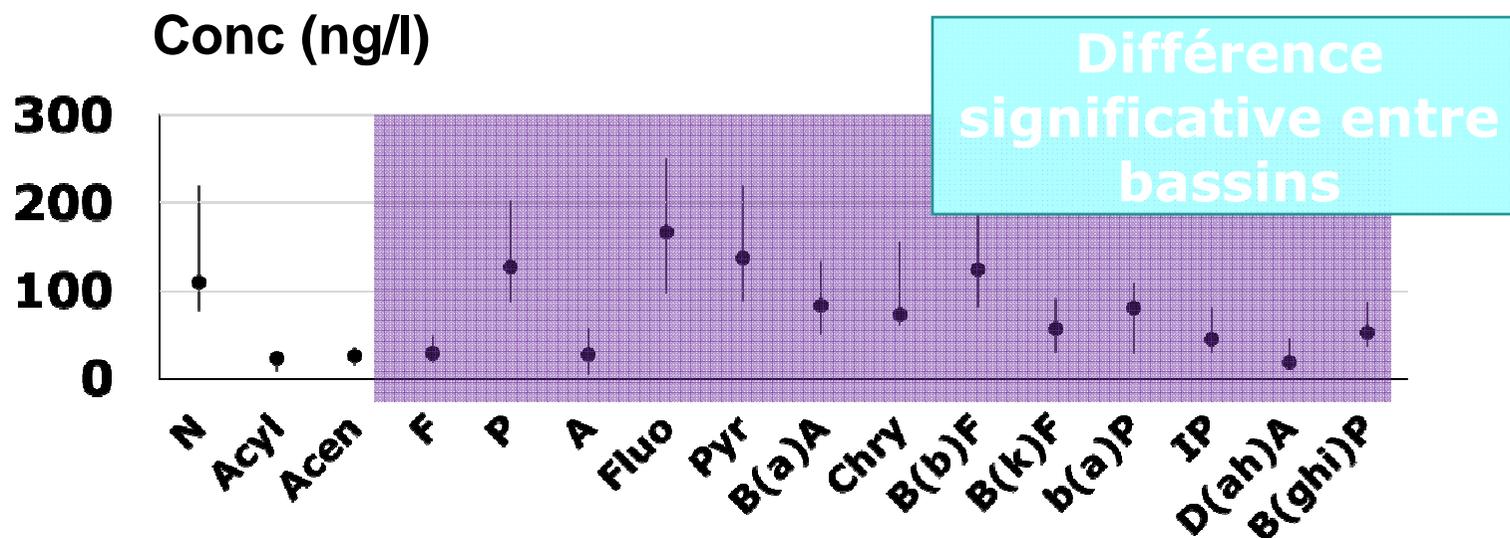


Focus HAP



Substances	Sucy (n=8)		Pin Sec (n=7)		Chassieu (n=4)	
	Moy	ET	Moy	ET	Moy	ET
Fluo	217	193	105	72	97	65
Σ₁₃ HAP	1 237	1 127	723	491	644	406
	Σ ₁₃ HAP		Σ ₁₃ HAP		Σ ₁₃ HAP	
	800 - 6 480		550 - 2 200			
	Zghieb et al., (2011)		Bressy et al., (2012)			

Focus HAP



Substances	Sucy (n=8)		Pin Sec (n=7)		Chassieu (n=4)	
	Moy	ET	Moy	ET	Moy	ET
Σ_{13} HAP	1 237	1 127	723	491	644	406
Trafic (véh.km/j) /ha imp	60 000 1 250		10 000 670		36 000 270	
Teneur HAP (ng/g)	19 000		7 000		6 000	

Différences entre les bassins versants

Métaux (n=14)

As, Cd,
Pb, Cr,
Zn, Cu,
Pt, Ni,
Ti, V, Sr,
Co, Mo,
Ba

HAP (n=16)

Acyl Pyr N P
F Chry B(a)A
B(b)F IP
D(ah)A Fluo
BP B(a)P A
B(k)F Ace

Pesticides (n=30)

Données
limitées

PBDE (n=9)

28, 47, 99,
100, 153,
154, 183,
205, 209

BPA/APnEO (n=8)

BPA
OP
OP1EO
OP2EO
NP
NP1EO
NP2EO
NP1EC

Apports locaux
industriels

+

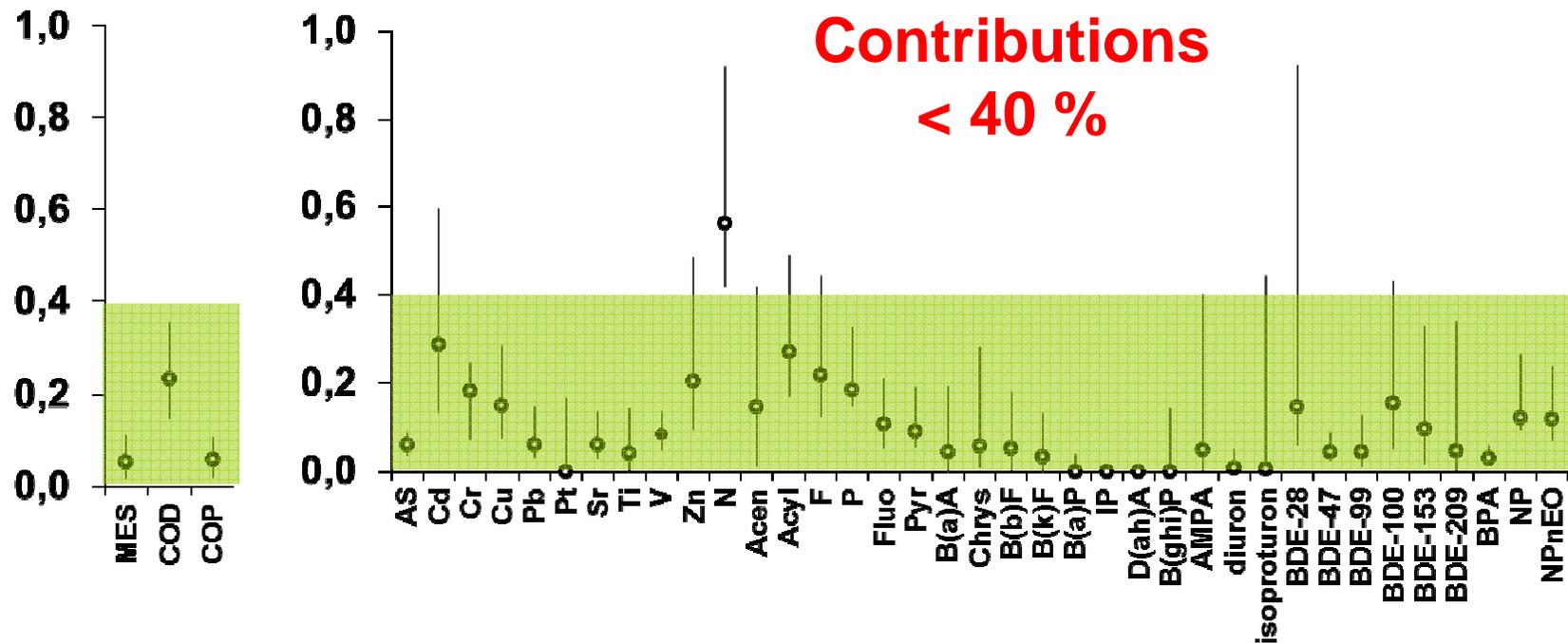
trafic routier

Explication
?

Grande diversité
d'applications
Lissage ?

Contributions des RAT ($[\text{Conc}]_{\text{RAT}}/[\text{Conc}]_{\text{EXT}}$)

Q20-Q50-Q80, tous sites confondus



- Contributions sources locales (trafic, chaussées, bâtis ?)
- Quelques différences locales

Conclusions et perspectives



1) Evaluer la qualité des eaux pluviales pour un large panel de polluants (n=77) à l'échelle de 3 BV péri-urbains,

2) Déterminer si la qualité des eaux pluviales diffère sur ces bassins et analyser si le plan d'occupation des sols ou les activités sont responsables de ces différences,

- Création d'une base de données importante
- Mise en évidence de spécificité sur chaque bassin
- Certaines limites dans l'interprétation des résultats

Conclusions et perspectives

- 1) Evaluer la qualité des eaux pluviales pour un large panel de polluants (n=77) à l'échelle de 3 BV péri-urbains,
- 2) Déterminer si la qualité des eaux pluviales diffère sur ces bassins et analyser si le plan d'occupation des sols ou les activités sont responsables de ces différences,



Micropollutants in urban stormwater: occurrence, concentrations and atmospheric contributions for a wide range of contaminants in three French catchments

Gasperi·J.^{1,*}, Sebastian·C.², Ruban·V.^{3**}, Delamain·M.³, Percot·S.³, Wiest·L.⁴, Mirande·C.¹,
Caupos·E.¹, Demare·D.³, Diallo·Kessoo·M.⁵, Saad·M.¹, Schwartz·JJ.⁵, Dubois·P.¹, Fratte·C.⁴,
Wolff·H.⁵, Moilleron·R.¹, Chebbo·G.¹, Cren·C.⁴, Millet·M.⁵, Barraud·S.², Gromaire·MC.^{1,***}

Conclusions et perspectives

1) Evaluer la qualité des eaux pluviales pour un large panel de polluants (n=77) à l'échelle de 3 BV péri-urbains,

2) Déterminer si la qualité des eaux pluviales diffère sur ces bassins et analyser si le plan d'occupation des sols ou les activités sont responsables de ces différences,

- Relation entre flux de contaminants et évènements
- Corrélation entre contaminants
- Flux annuels de polluants (A. Hannouche)

- Dans quelle mesure peut-on généraliser ces résultats ?
- Les campagnes de mesure ne permettent pas de visualiser de différences : réelle absence ou manque de finesse ? Autres approches ?

Conclusions et perspectives



3) Evaluer la contribution relative des apports atmosphériques et des sources locales de contamination (chaussées, bâtis) à la pollution des eaux pluviales

- Contributions minoritaires des apports atmosphériques
- Origine des contaminations (BPA, AP, PBDE) ?

Lien avec lessivage
des matériaux urbains
(Lamprea, 2012)

Lien avec approche SFA
(Substance flow analysis)
(Petrucci, 2013)



Observatoire des Polluants Urbains
Séminaire thématique
13/04/2015



Concentrations de micropolluants dans les eaux pluviales : synthèse des campagnes INOGEV

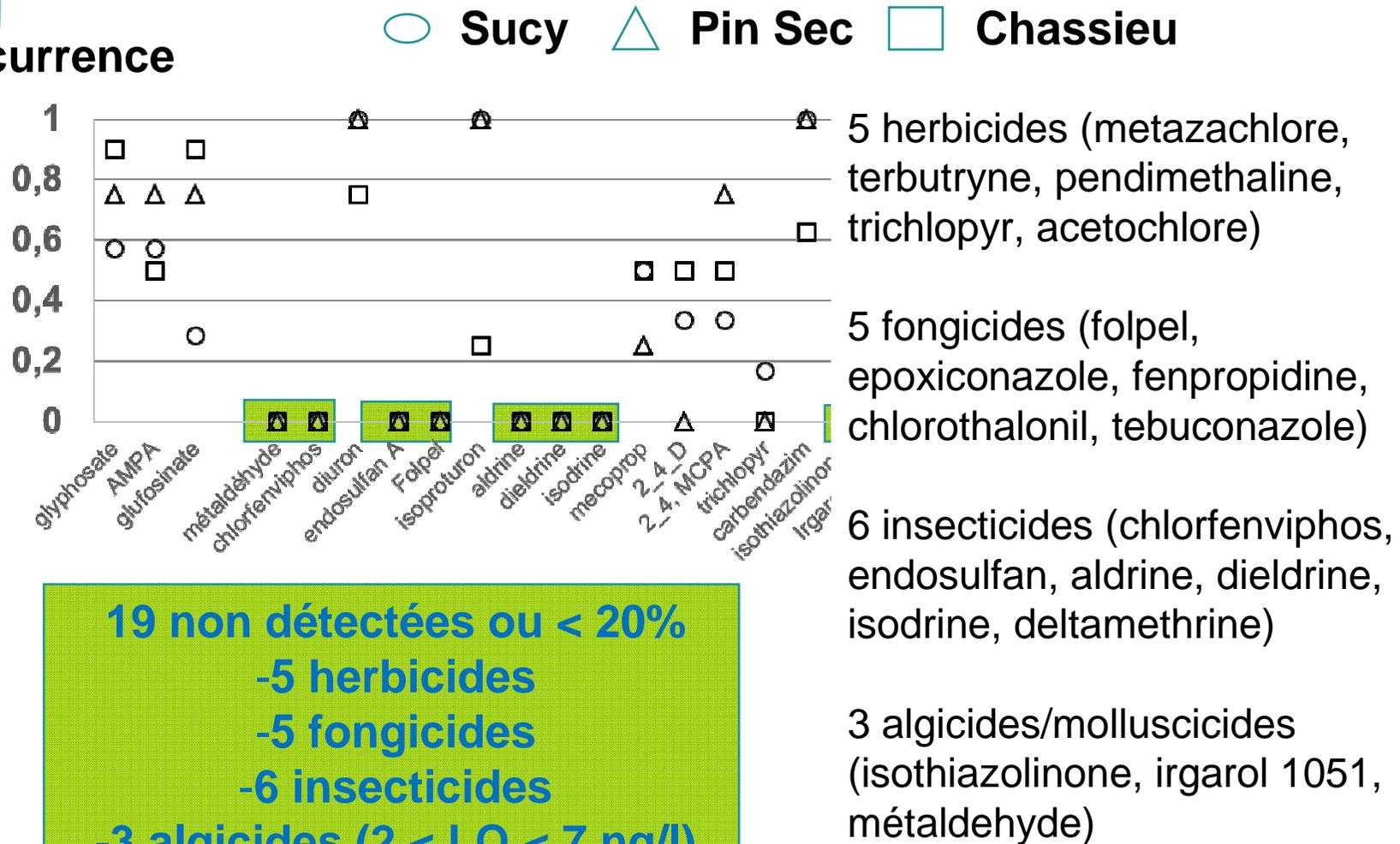
Gasperi J., Sebastian C., Ruban V., Delamain M., Percot S., Wiest L.,
Mirande C., Caupos E., Demare D., Diallo Kessoo M., Saad M., Schwartz
JJ., Dubois P., Fratta C., Wolff H., Moilleron R., Chebbo G., Cren C., Millet
M., Barraud S, Gromaire MC



Résultats et discussions

Focus sur pesticides

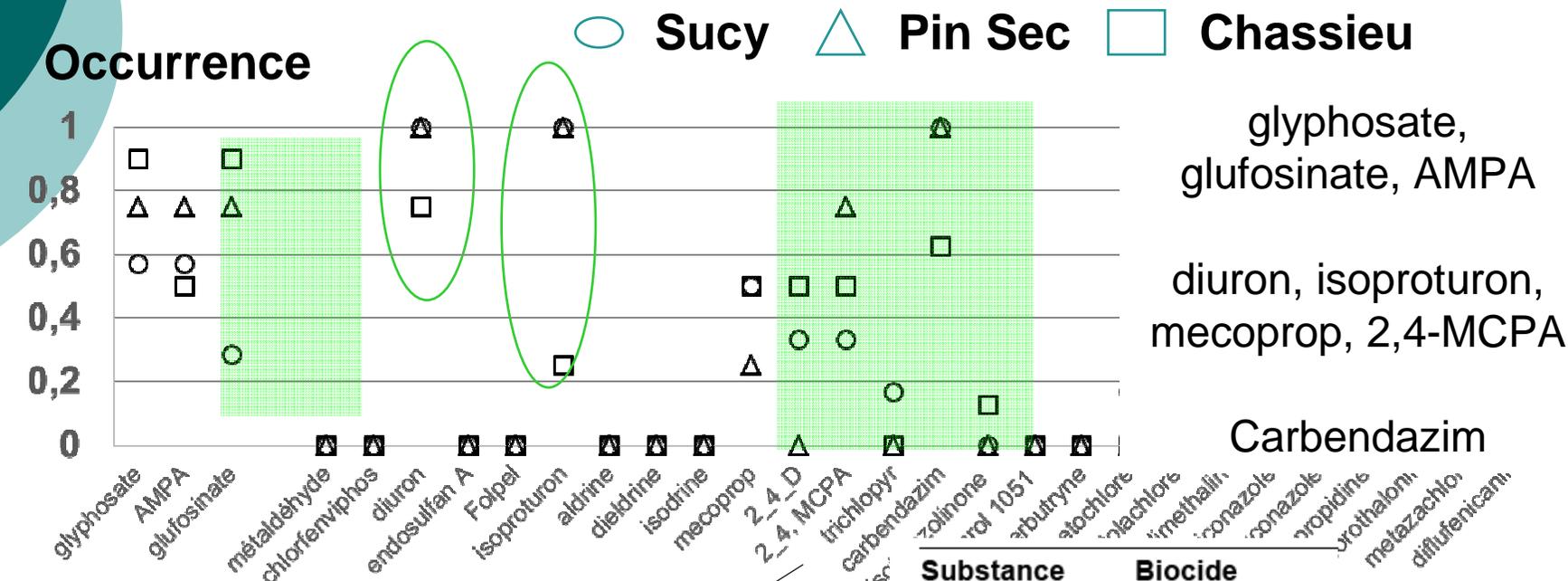
Occurrence



19 non détectées ou < 20%
 -5 herbicides
 -5 fongicides
 -6 insecticides
 -3 algicides (2 < LQ < 7 ng/l)

Résultats et discussions

Focus sur pesticides



Herbicides
Usage par
particuliers
et services
municipaux ?
13/04/2015

Herbicides
+
Biocides

Substance	Biocide
Triazine	Irgarol 1051 Terbutryn
Phenylurea	Diuron Isoproturon
Isothiazolinone	DCOIT OIT
Carbamate	IPBC Carbendazim
Metal organic	Zinc pyrithione

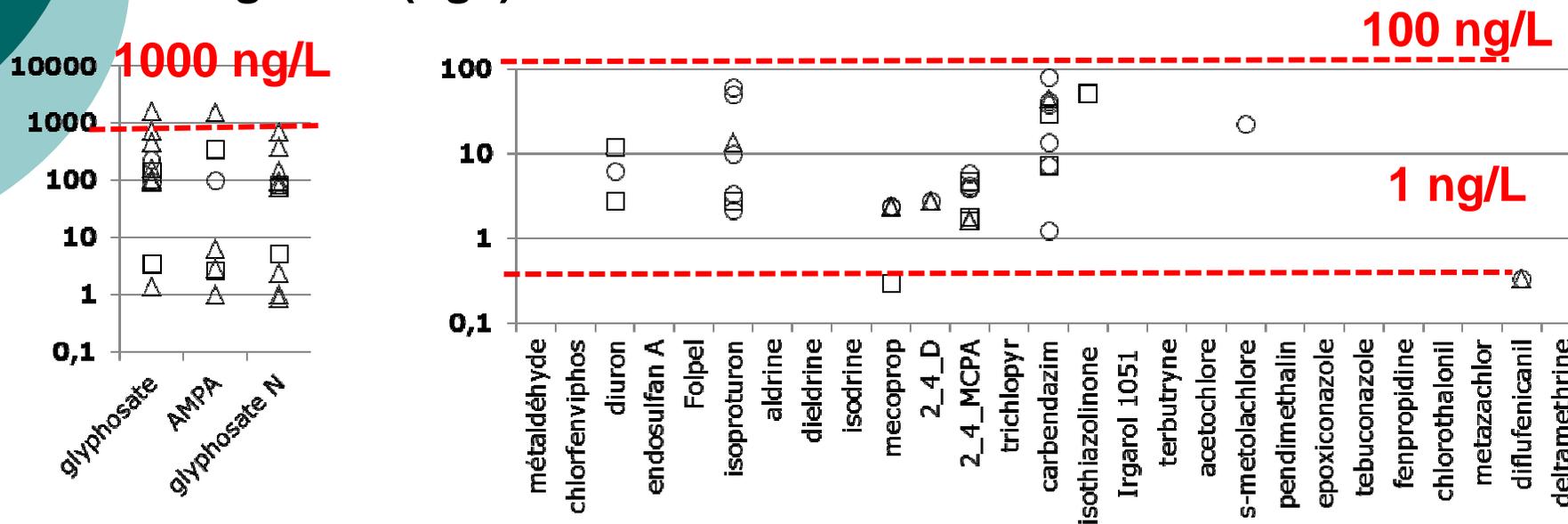
Biocides
façades et
peintures

Burkhardt et
al., (2012)

Résultats et discussions

Focus sur pesticides

Log conc (ng/l)



- Concentrations glyphosate (95-198 ng/l, Q20-Q80, 3 sites)

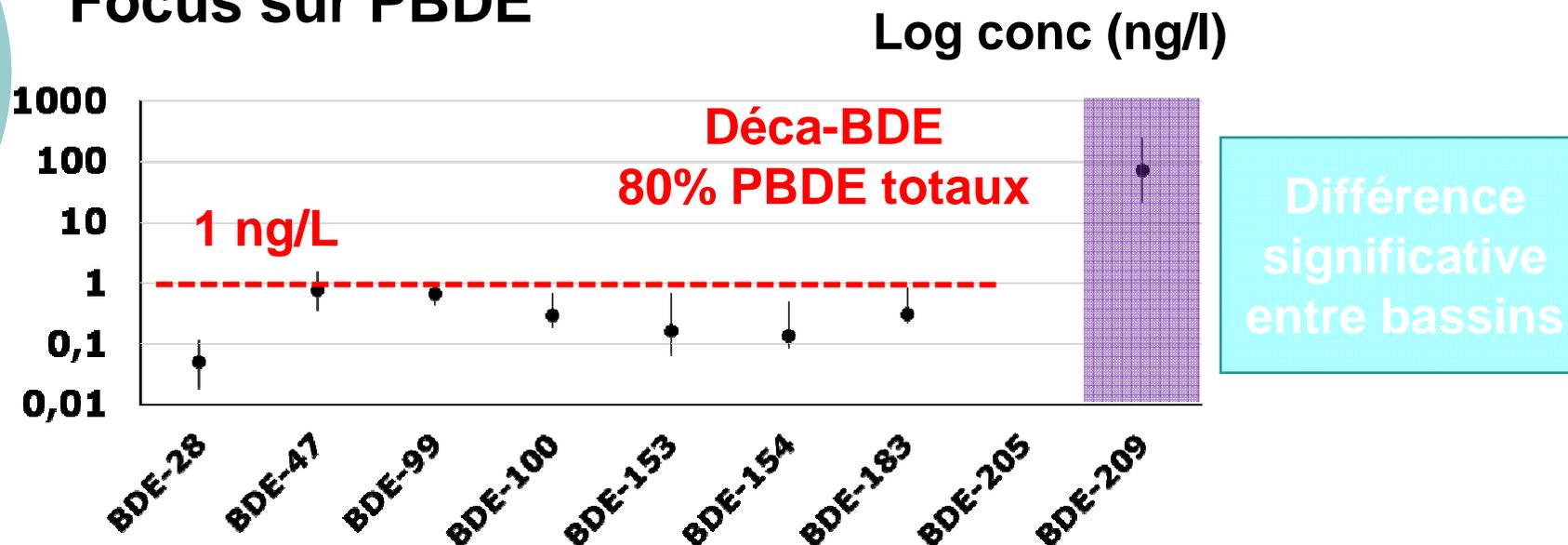
- Concentrations très fluctuantes



Quantité épandue
Caractéristiques des pluies
Coefficients de transfert

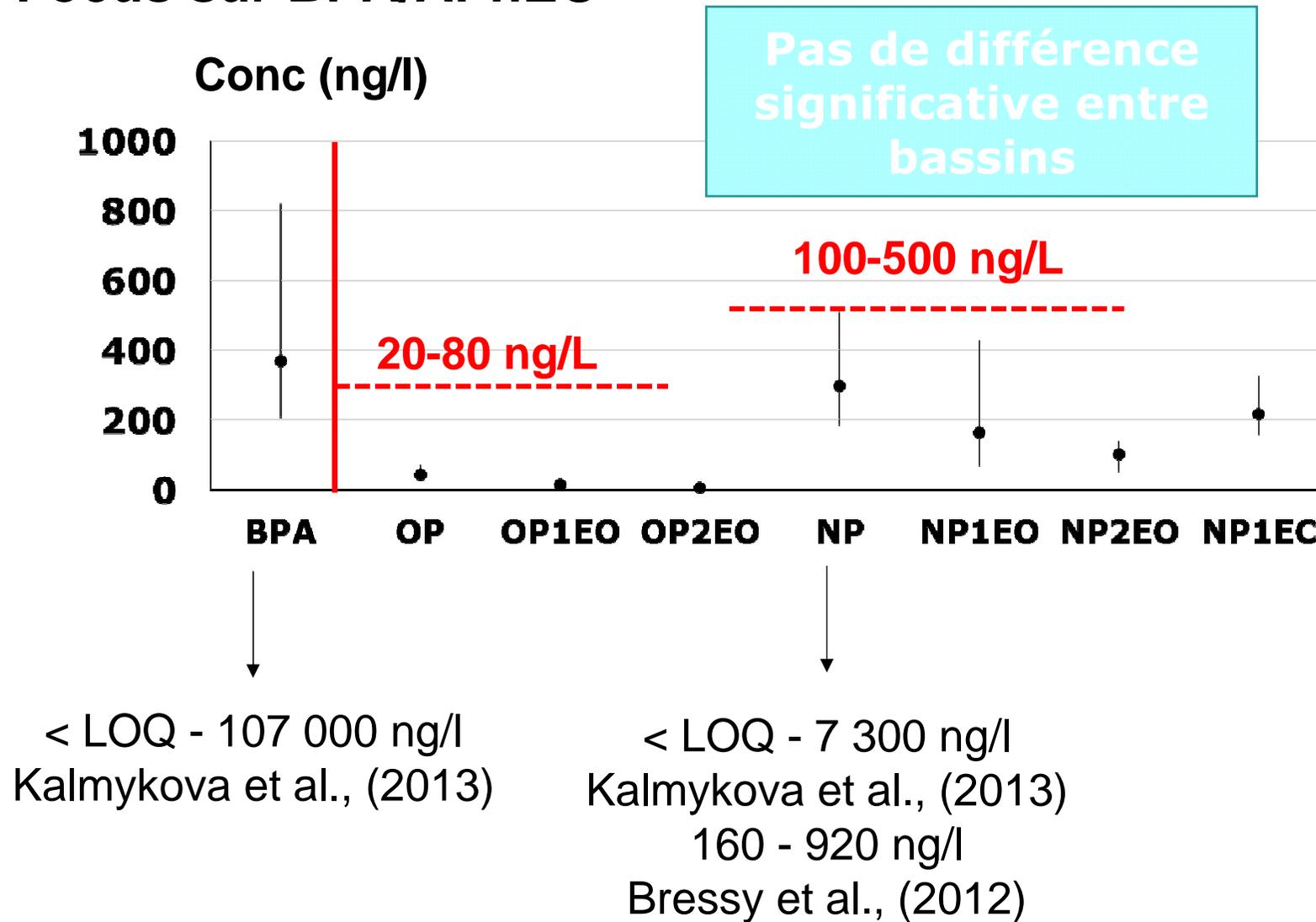
- Différences entre sites non examinées

Focus sur PBDE



- BDE-28/47/99/100/209 fréquemment observés (60 - > 80%)
- Pas de données sur eaux pluviales (à notre connaissance)
- Niveaux supérieurs aux RAT (Muresan et al., 2010, Tlili et al., 2012)

Focus sur BPA/APnEO





Observatoire des Polluants Urbains
Séminaire thématique
13/04/2015



Evaluation des flux annuels en micropolluants et des incertitudes associées à l'exutoire de réseaux séparatifs pluviaux

A. Hannouche, G. Chebbo, C. Joannis



- **Flux annuels en micropolluants**
 - Indicateur de performance de la collecte: Intégration pluriannuelle
 - Indicateur de pression sur le milieu récepteur: effet chronique
 - Manque des données bibliographiques sur les flux annuels en micropolluants
 - Méthode d'évaluation des flux (prélèvements et analyses)
 - Accès direct aux contaminants
 - Onéreux
 - Peu de données
 - Faible représentativité temporelle
 - Incertitudes importantes

- **Objectifs :**
 - Proposer une méthode qui couple une mesure indirecte (turbidité) mais continue des matières en suspension et des campagnes de mesure des micropolluants
 - Application aux sites Sucy en Brie et Chassieu
 - Tous les micropolluants d'INOGEV (sauf les pesticides: trop variables)

Masse d'un polluant

$$\begin{aligned} \circ \quad M_{k\ pol} &= \sum_{i=1}^{N_{\text{événements}}} M_{i\ pol} \\ &= \sum_{i=1}^{N_{\text{événements}}} C_{T-pol_i} \times V_i = \overline{C_{T-pol}} \times \sum_{i=1}^{N_{\text{événements}}} V_i \end{aligned}$$

- Pour estimer les flux polluants pour un site donné:

- Pas des données
- Données pluviométriques ou de débit $Q(t)$
- Quelques campagnes de mesures pour le polluant désiré
- Mesures indirectes du polluant mais en continu: turbidité (T):

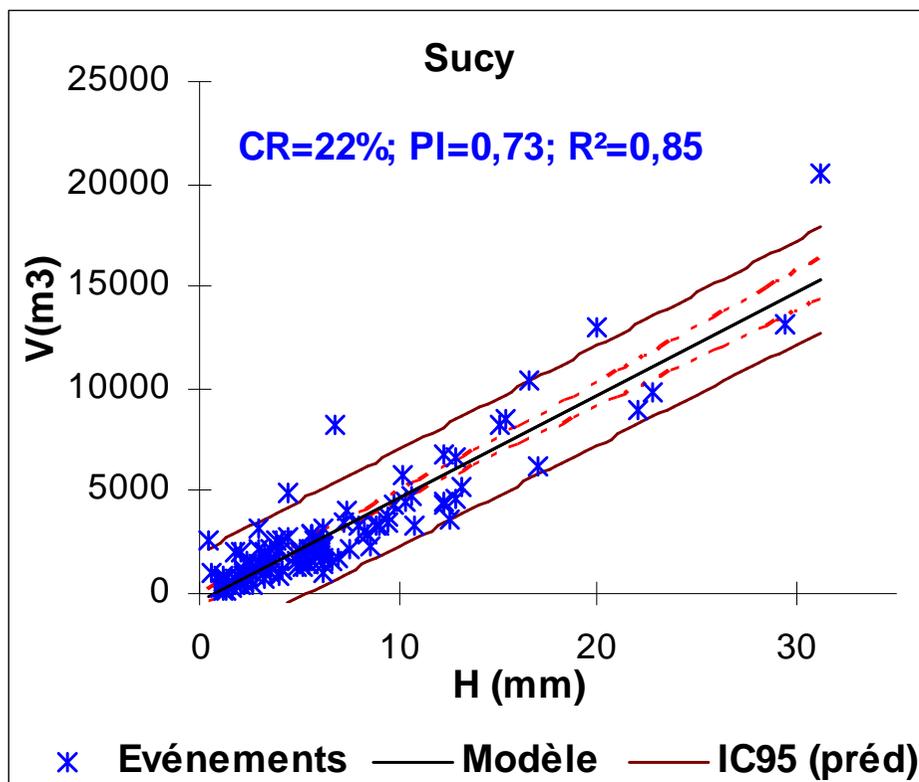
$$\circ \quad C_{T-Pol} = C_{P-Pol} + C_{D-Pol} = TXC_{MES} + C_{D-Pol} = \xi \times f(T) + C_{D-Pol}$$

- **Identification des événements pluvieux;**
- **Reconstitution des données manquantes:**
 - Modèle 1: Pluie-volume
 - Modèle 2: Distribution de concentrations moyennes événementielles de MES
- **Construction des modèles de calcul des concentrations totales de micropolluants par événement pluvieux**
 - Modèle 3: Distribution de teneurs (τ : $\mu\text{g/g}$ de MES) +distribution de concentrations dissoutes ($\mu\text{g/l}$)
 - Modèle 4: Distribution de concentrations totales ($\mu\text{g/l}$)
- **Application des modèles:**
 - Distribution des flux annuels de micropolluants par sommation des flux événementiels (méthode de Monte Carlo)
 - Quantification des incertitudes associées

Reconstitution des données manquantes

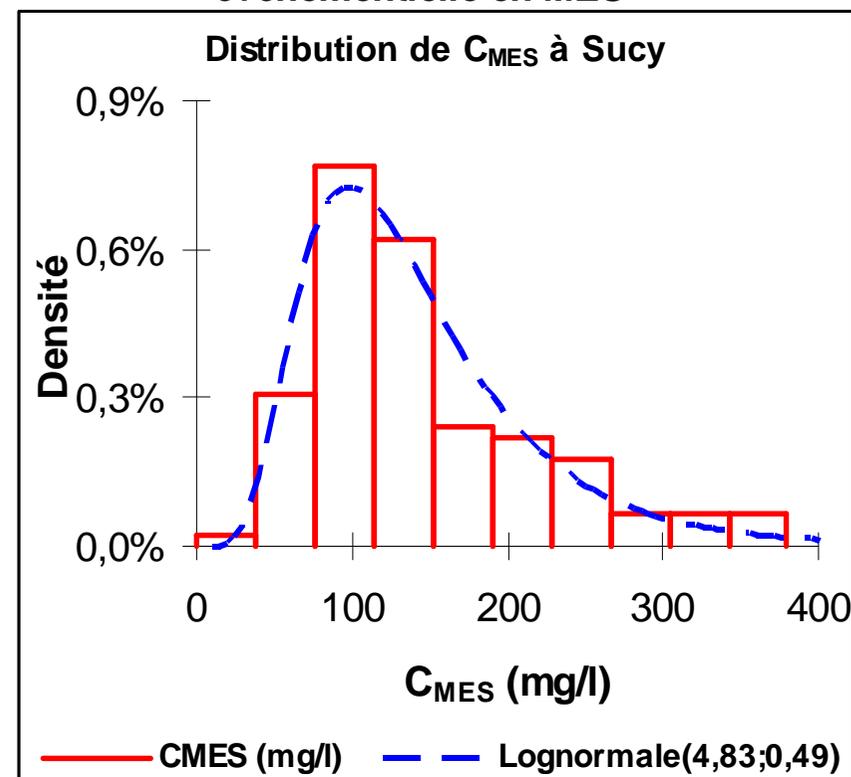
Modèle 1 à Sucy en Brie

$$V = C_R * (H - PI) * A$$

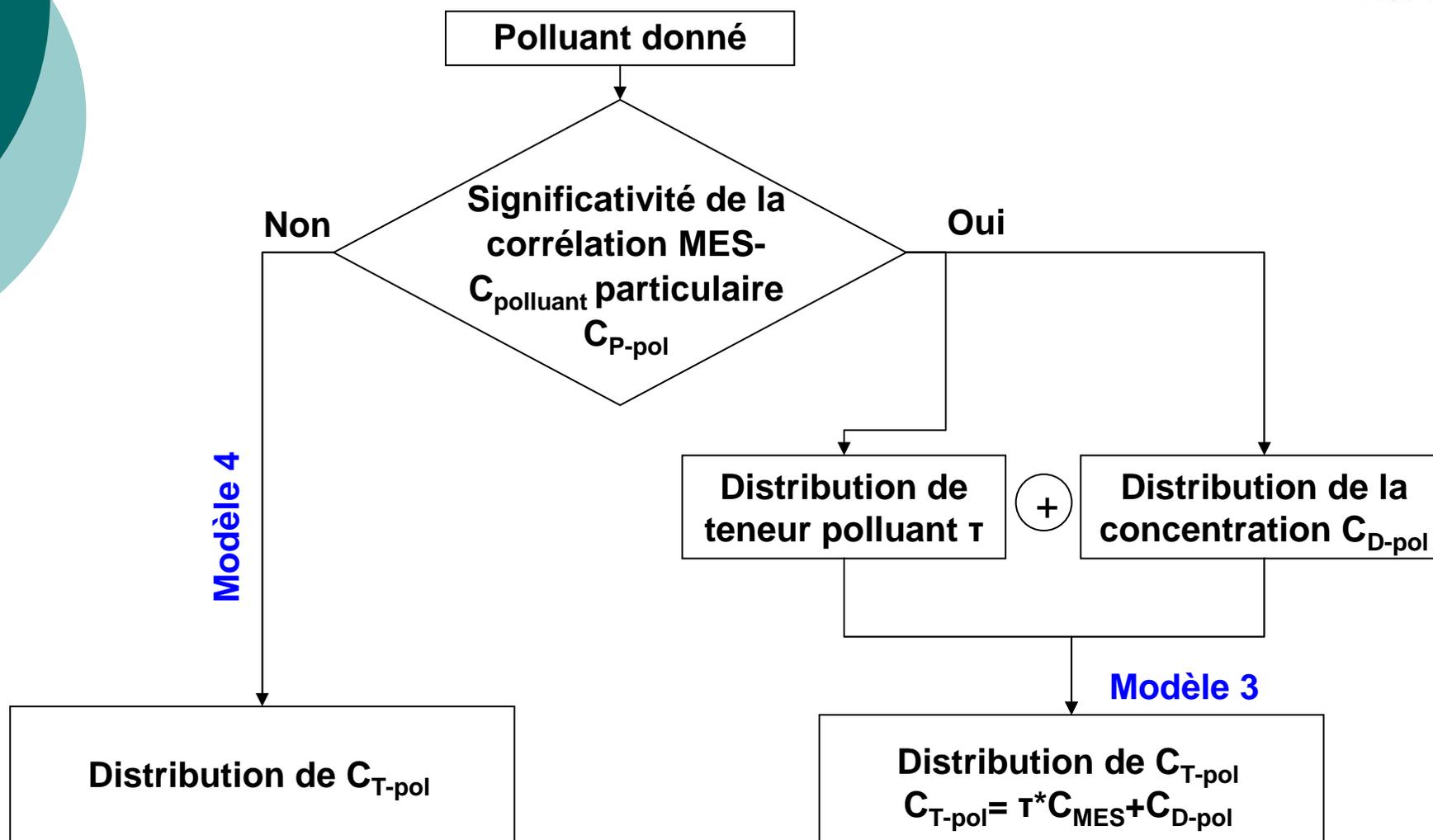


Modèle 2 à Sucy en Brie

Distribution de la concentration moyenne événementielle en MES



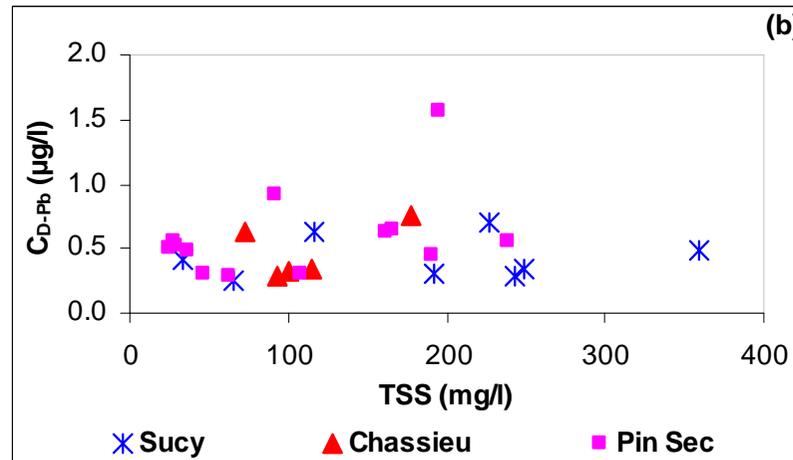
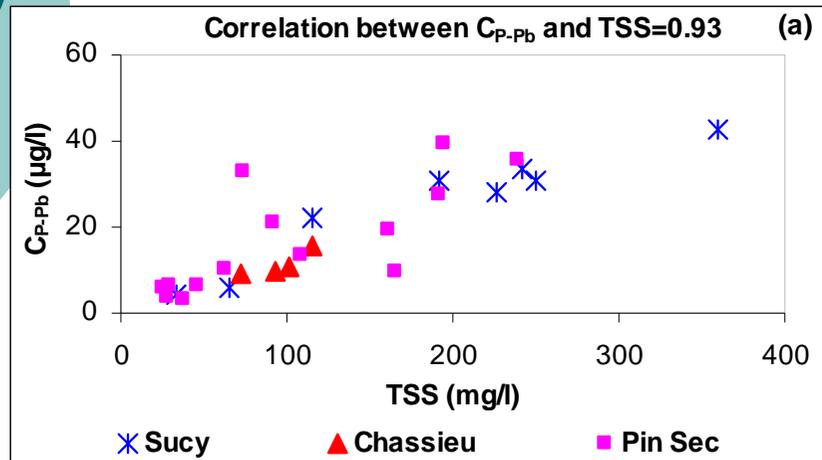
Modèles des concentrations totales



N.B: Les distributions sont calées pour les sites homogènes (agrégation des données)

Exemple du modèle 3

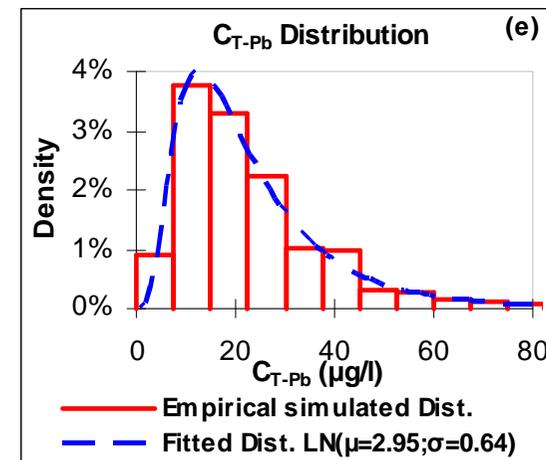
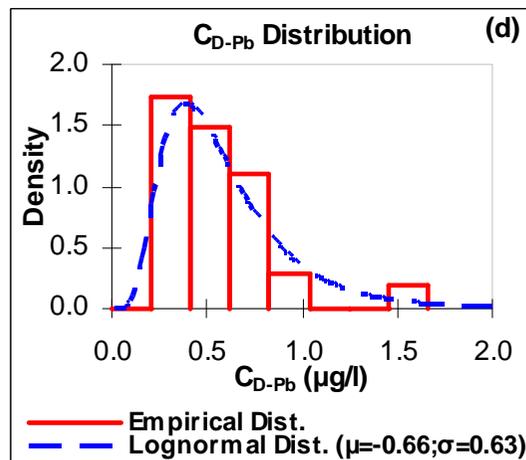
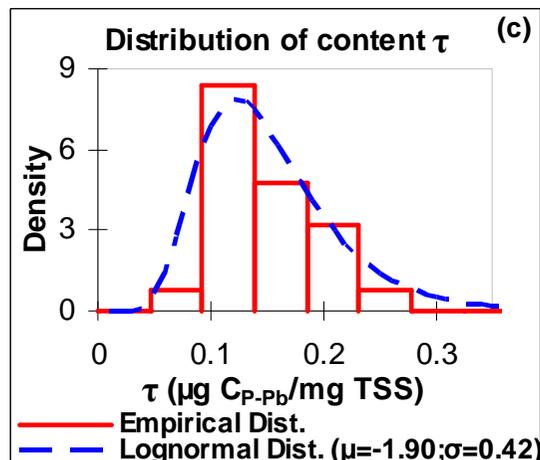
Cas du Plombe Pb



Significant correlation between Pb_P and TSS & Homogeneity of contents between sites

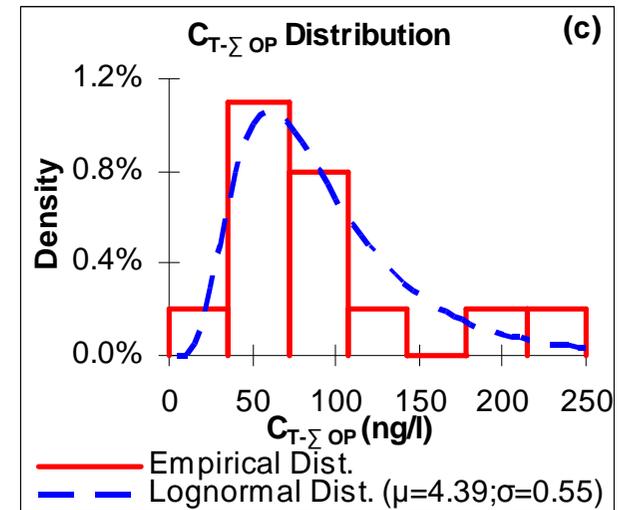
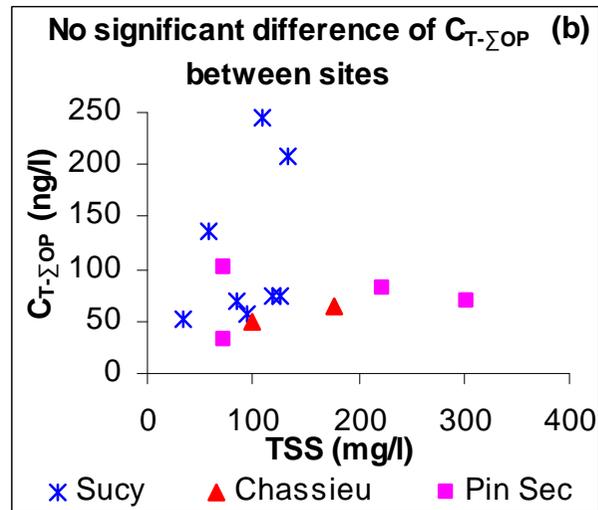
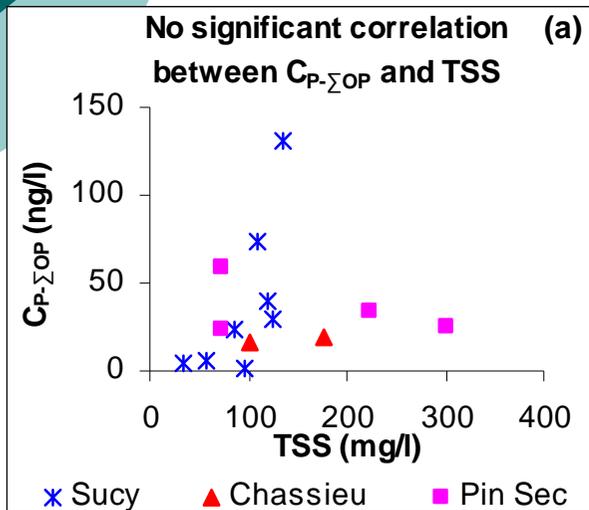
No significant difference in Pb_D between sites

Distribution of C_{T-Pb} (Sucy site)
 $Pb_T = \tau * TSS + Pb_D$

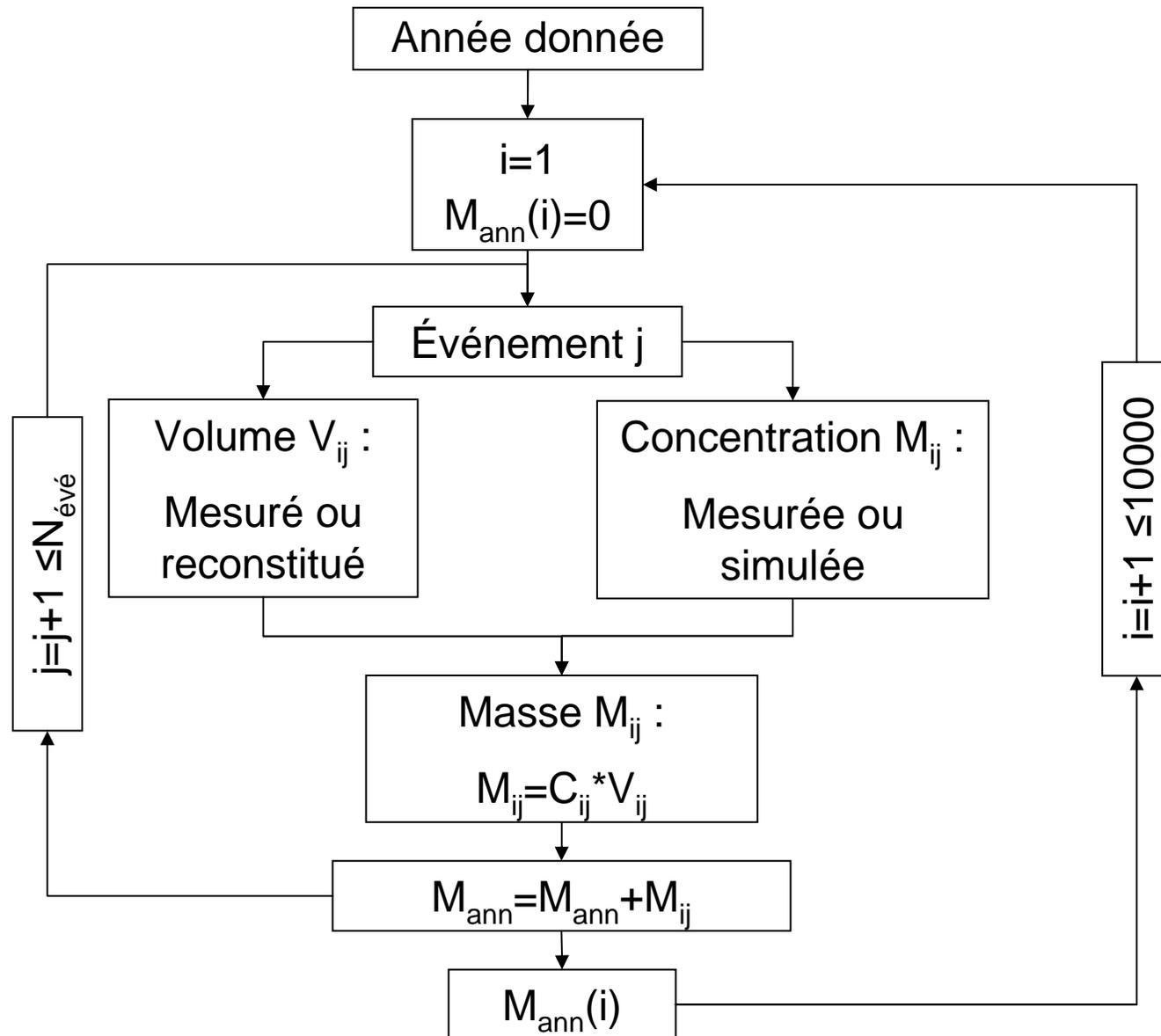


Exemple du modèle 4

Cas du platine ΣOP



Application des modèles

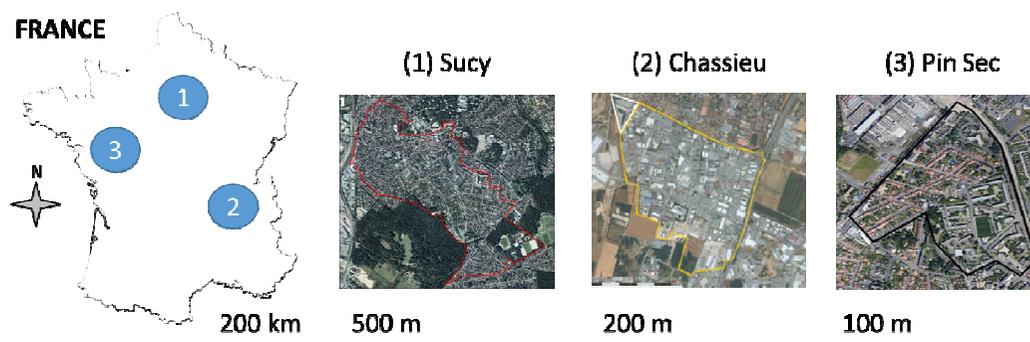


Sites et données utilisées

Sites	Location	Surface (ha)	CI* (%)	Pente** (%)	Occupation du sol
Sucy	Paris, Sud-est	228	27	0,18	Résidentiel
Pin Sec	Nantes, Nord-est	30	49	1,00	Résidentiel et logement collectif
Chassieu	Lyon, Est	185	75	0,40	Industriel

Données utilisées pour la construction des modèle 3 et 4		
Sites	Pluies A	Pluies B
Sucy	9	10
Chassieu	3	5
Pin sec	8	13

- Paramètres globaux (MES,CO)
- éléments Majeurs (9)
- 14 métaux
- Σ_{13} HAP et Σ_{16} HAP
- BDE209 et Σ_8 PBDE
- BPA , Σ OP et Σ NP



Sites et données utilisées



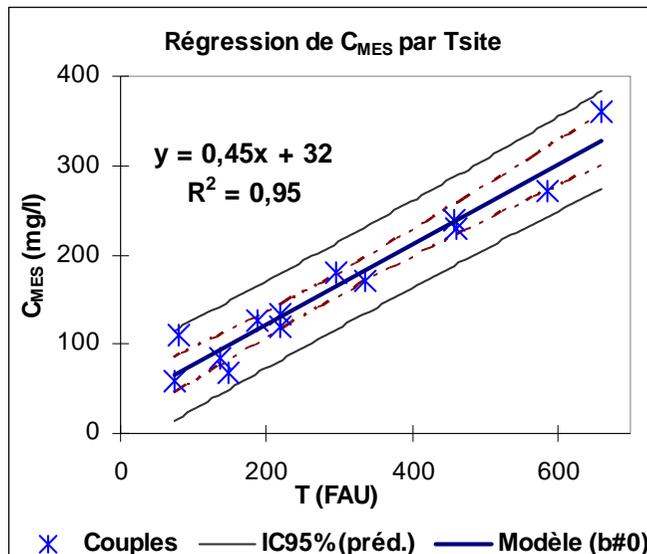
Mesures en continu

- Pluvio (1 à 2 sur chaque site)
- Débitmètre par site (h & V)
- Seulement sur le site de Sucy et Chassieu :
2 turbidimètres + 1 conductimètre
 - Mesure en atténuation à Sucy
 - Mesure en Néphélométrie à Chassieu
 - Pas de temps = 2 min

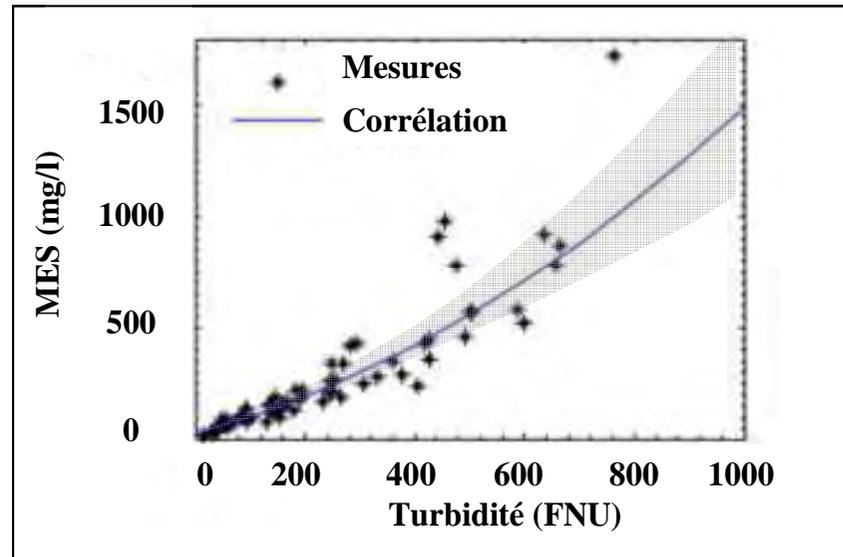
Données utilisées pour la construction des modèle 1 et 2 et pour les simulations			
Sites	Années	Nb Pluies	Nb événements
Sucy	2011-2013	220	121
Chassieu	2004-2008	590	263
<i>Pin Sec</i>	<i>2011-2012</i>	<i>198</i>	<i>18</i>

Modèle MES-Turbidité

- Sucy: modèle événementiel à partir des mesures laboratoire et Turbidité moyenne en site
- Chassieu: modèle d'une concentration instantanée à partir de la turbidité

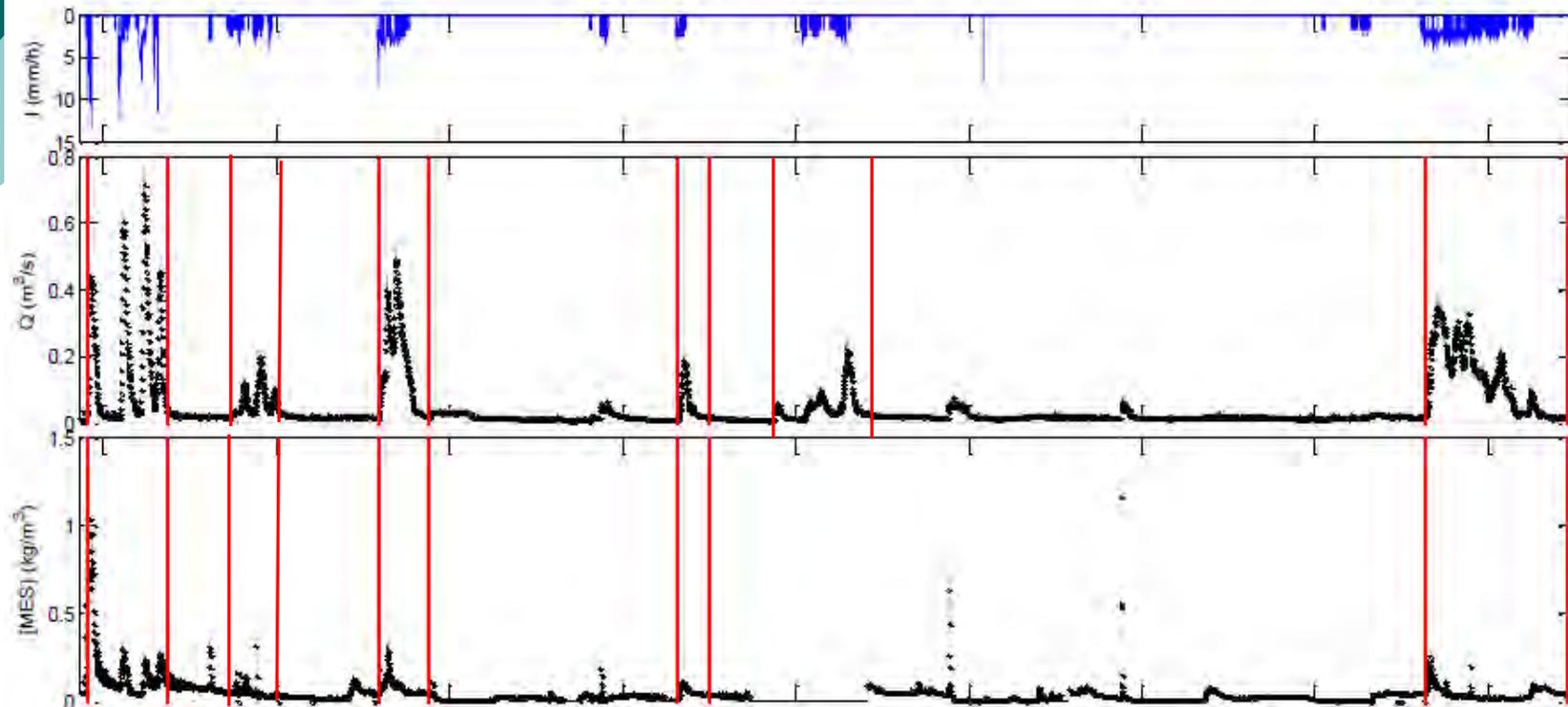


Relation linéaire MES-Turbidité (événementielle)
sur le site de Sucy en Brie



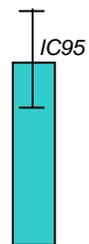
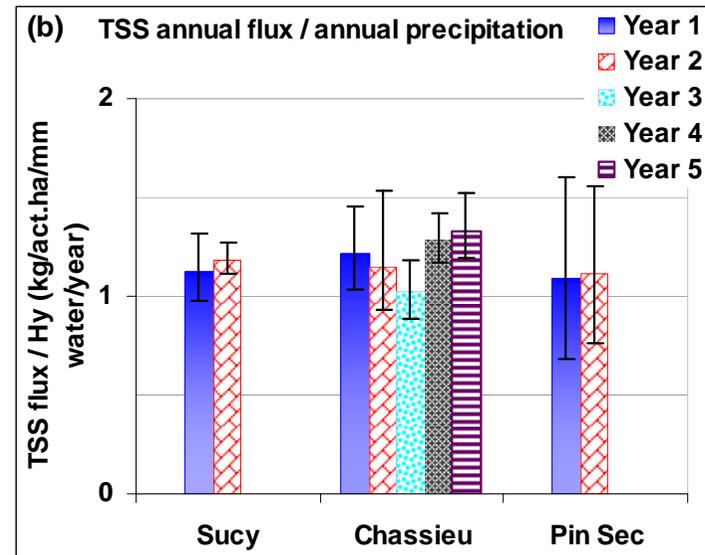
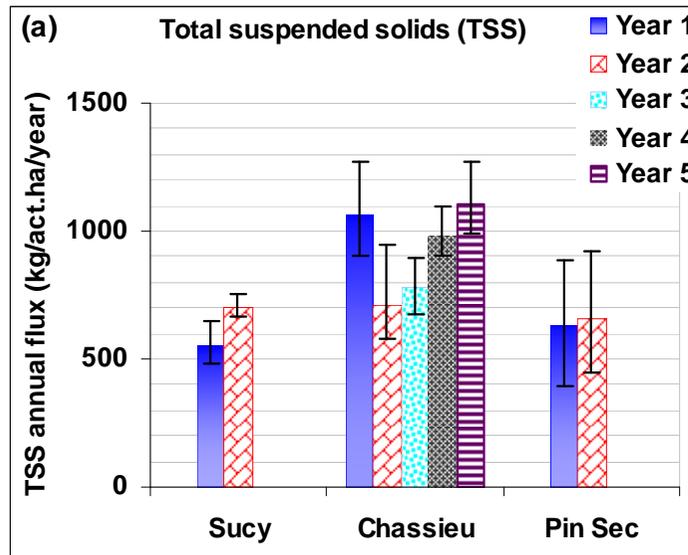
Relation polynomiale (2nd degré) MES-turbidité (instantanée)
sur le site de Chassieu

Exemples des séries temporelles en continu



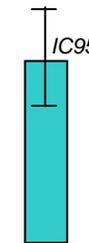
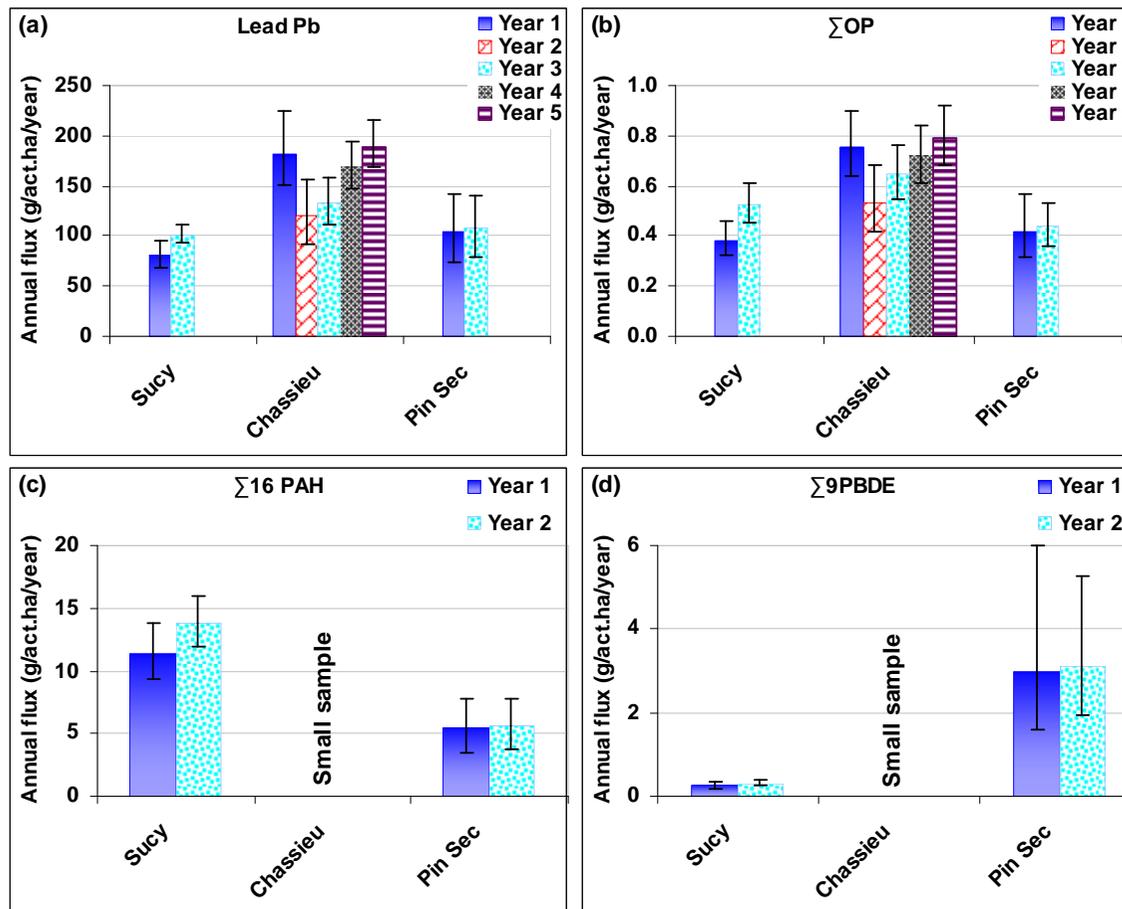
Exemple de pluies à Chassieu. Période du 29 mai au 06 juin 2008

- Masses annuelles de MES
 - Faibles variabilités inter-site et inter-annuelle
 - Influence apparente des conditions météorologiques
 - Incertitudes à 95%: de ± 8 à $\pm 30\%$: fonction du nombre d'événements avec mesures valides de turbidité

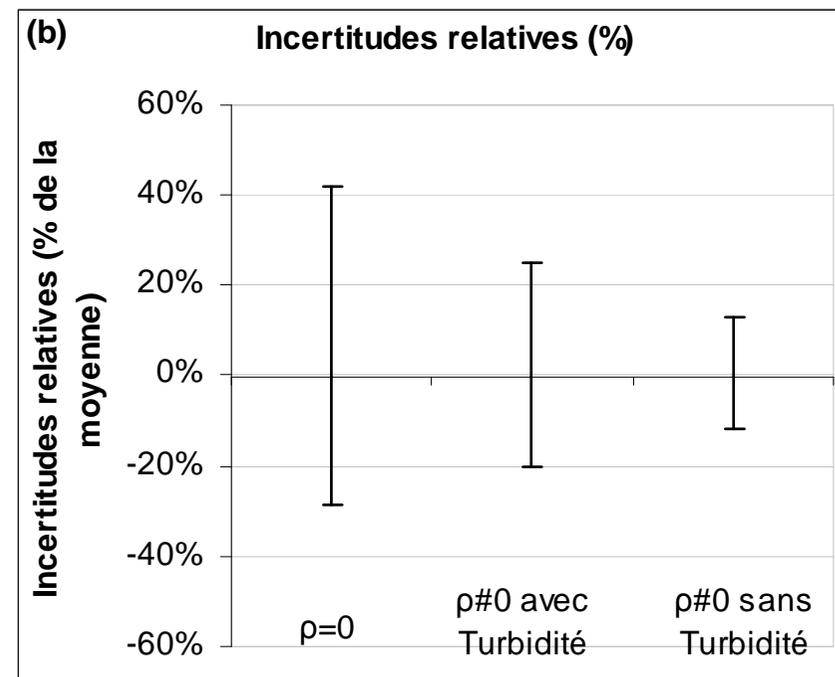
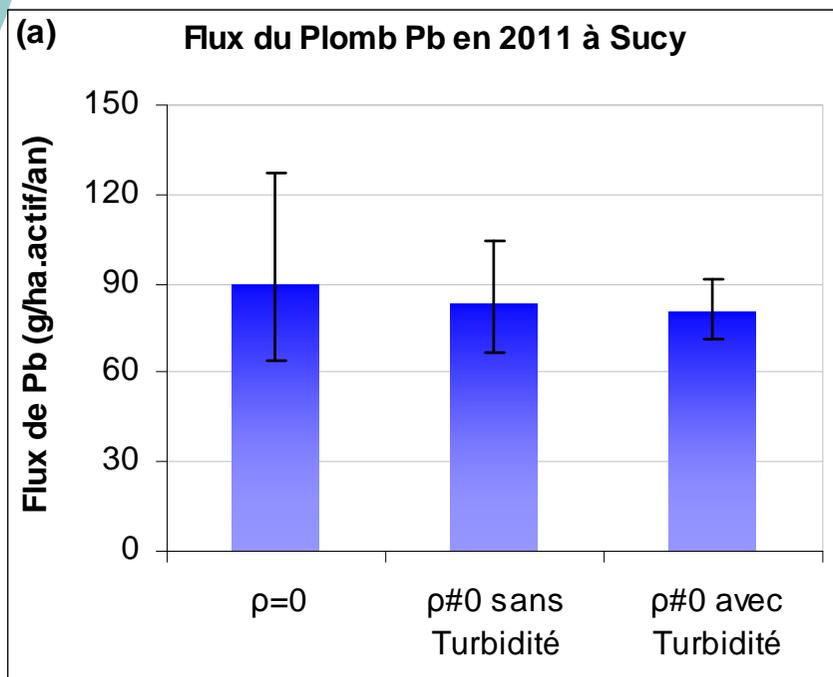


Autres contaminants

- Mêmes conclusions pour les pluparts de contaminants
- Incertitudes plus importantes: ± 10 à $\pm 60\%$



Apport de la turbidité



Conclusions



- Distributions lognormales des CME en micropolluants ;
- Faibles variabilités inter-annuelle et inter-site (sauf pour quelques polluants) des flux annuels liées aux précipitations;
- Incertitudes (IC 95%) sur la masse annuelle en micropolluants: entre $\pm 10\%$ à $\pm 60\%$;
- Deux papiers à soumettre:
 1. *Hannouche, A.; Chebbo, G.; Joannis, C. "Assessment of pollutant Site-Mean Concentration and its associated uncertainties in separate storm sewers from continuous turbidity measurements and sampling campaigns"*
 2. *Hannouche, A.; Chebbo, G., Joannis, C., Gasperi, Gromaire M.C., Moilleron R., Barraud S., Ruban V. "Assessment of annual pollutant loads and its associated uncertainties in separate storm sewers"*



Merci!



Merci pour votre
attention