

Évaluation de la contribution des dépôts aux flux de matières en suspension par temps de pluie dans les réseaux d'assainissement unitaires



Ali Hannouche; Ghassan Chebbo; Claude Joannis

JOURNEES EAU ET ENVIRONNEMENT
8 et 9 Janvier 2013



IFSTAR



Je vous présente l' évaluation de la contribution des dépôts aux flux de matières en suspension par temps de pluie dans les réseaux d'assainissement unitaires. C'est une partie de ma thèse encadrée par Messieurs Ghassan Chebbo et Claude Joannis. Cette thèse fait partie d'un projet R2DS et a été réalisée grâce à une bourse CIFRE avec SEPIA Conseils. Elle s'est déroulée au LEESU en partenariat scientifique avec l'IFSTTAR de Nantes dans le cadre du réseau URBIS (ex HURRBIS) qui regroupe les trois observatoires français OPUR-Paris, OTHU-Lyon et ONEVU-Nantes.

- ❖ **Importance de la pollution due aux Rejets Urbains de Temps de Pluie (RUTP)**
- ❖ **Rôle important des Matières En Suspension (MES)**
- ❖ **Trois sources de polluants : eaux usées (EU), eaux de ruissellement (ER) et stock de dépôt (SD).**
- ❖ **Rôle fondamental joué par les processus de sédimentation /érosion**
 - ❑ Réseaux de faible pente, présentant des zones connues d'accumulation de dépôts (grossiers);
 - ❑ Nombre restreint d'événements pluvieux en les comparant à quelques journées de temps sec pour estimer les EU;
 - ❑ Importance des incertitudes dans le calcul: bonne description des entrées incluant leur variabilité
- ❖ **Mesure en continu de la turbidité en réseau d'assainissement unitaire**

Tout d'abord, nous nous intéressons au transport solide en réseau d'assainissement unitaire par temps de pluie car les résultats de nombreuses études sur ce sujet ont montré l'importance de la pollution due aux RUTP et ont confirmé l'importance des MES comme vecteurs de certains contaminants transportés par temps de pluie.

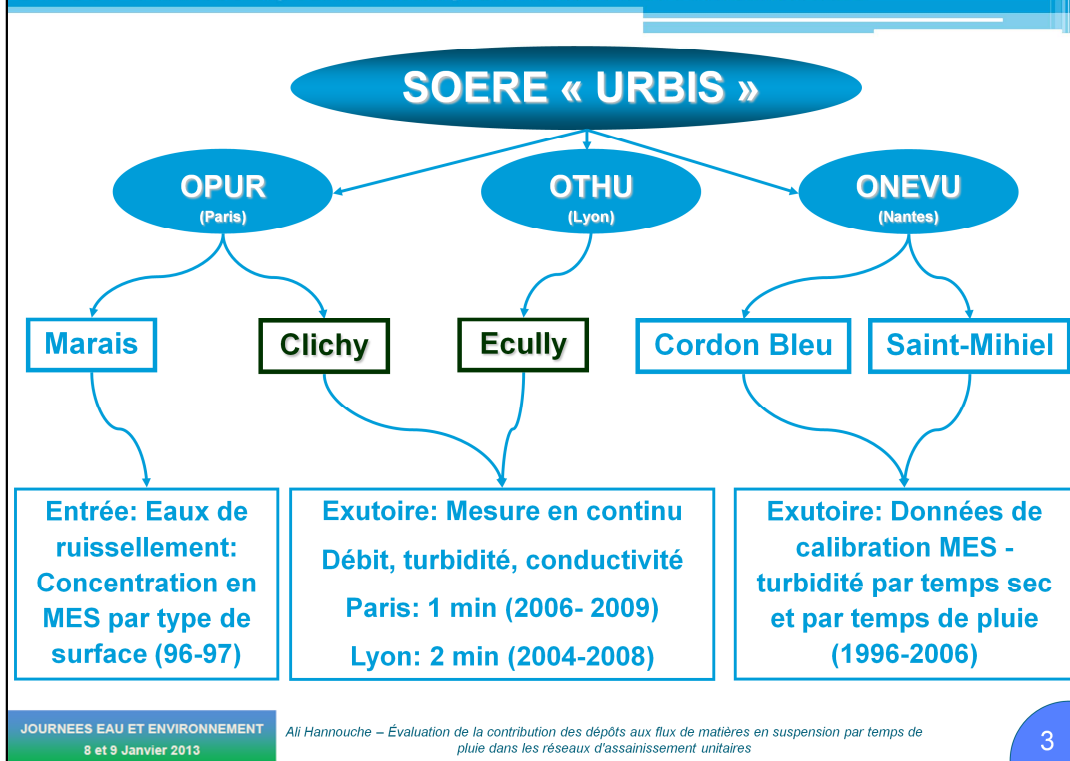
En réseau, on distingue trois sources de polluants: les eaux usées, les eaux de ruissellements et le stock de dépôts constitués par temps sec antérieurs.

Plusieurs recherches ont souligné le rôle fondamental joué par les processus de sédimentation et d'érosion de stock des dépôts. Cependant, ces travaux étaient sur des réseaux unitaires de faibles pente présentant des zones connues d'accumulation de dépôts (grossiers). Le calcul a été fait sur un nb restreint d'événements pluvieux en les comparant à quelques journées de temps sec pour estimer les eaux usées. Ceci soulève de questions sur l'importance des incertitudes dans le calcul.

Pour bien évaluer ce dernier, il faut une bonne description des entrées et une bonne évaluation de la sortie.

Dans ce contexte, la mesure indirecte par capteur optique comme la turbidité a été développée. Elle permettra une bonne représentativité temporelle de la dynamique particulaire.

L'objectif de cette présentation est d'évaluer la contribution de chacune de trois sources (EU, ER et SD) à la masse d'un événement pluvieux sur deux sites de caractéristiques différentes et estimer les incertitudes affectant ces évaluations



En 2007 les observatoires français en hydrologie urbaine ont coordonné leurs efforts pour améliorer la fiabilité et la reproductibilité des mesures en continu de la turbidité en réseaux d'assainissement et ont constitué des bases de données importantes

De plus les observatoires, fonctionnant depuis 94, ont acquis d'autres bases de données et ont développé des méthodes d'interprétation

Nous avons exploité les données provenant de 5 bassins versants répartis dans les trois observatoires: CB et SM à Nantes, Clichy et Marais à Paris et Ecully à Lyon

Sur chaque site nous disposons de données de longue durée permettant des études statistiques sur des échantillons de plusieurs dizaines d'événements et de jours de temps sec

Les données de Nantes sont de prélèvements ponctuels et d'analyse au Laboratoire des MES et de turbidité qui permettent d'étudier les relations entre turbidité et MES et d répondre aux objectifs de la 1ere partie de la thèse

Les données de Clichy et Ecully permettent d'étudier les flux, d'établir des bilans de masse et d'analyser la variabilité des résultats d'un site à un autre.

Enfin les données du Marais permettent de caractériser les eaux de ruissellement à Paris

Clichy à Paris et d'Ecully à Lyon:

- Sites de caractéristiques différentes: pente; Encrassement du réseau
- Mesure en continu: débit+turbidité+conductivité
- Clichy: 221 jours temps sec+ 88 événements pluvieux
- Ecully: 180 jours temps sec+ 200 événements pluvieux
- **Absence des données des eaux de ruissellement:**
 - Base de données du Marais: 31 événements (C_{Ruiss} par type de surface) pour Clichy
 - Données de la littérature pour Ecully
- **Absence des données de calibration MES-Turbidité à Clichy:**
 - Base de données Nantaise: Cordon Bleu et Saint-Mihiel
 - Relation moyenne pour quelques événements à Paris ~ de celle de Nantes

Pour atteindre cet objectif, on utilise la base de données acquises sur les deux sites: Clichy à Paris et Ecully à Lyon qui ont des caractéristiques différentes comme la pente: Ecully très pentu (2,7%) tandis que 0,14% à Clichy; Ecully ne présente pas de zones connues d'accumulation de dépôts

Il s'agit de données de mesure en continu du débit, turbidité et conductivité.

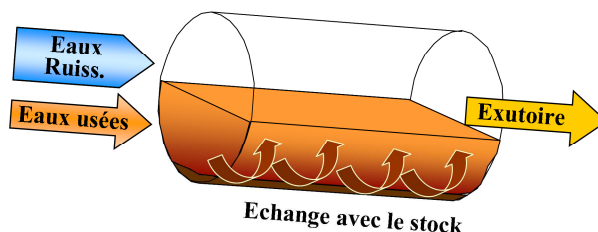
Pour Clichy on a environ 221 JTS et 88 événements pluvieux; 180 JTS et 200 événements pluvieux à Ecully

Nous ne disposons pas d'une base de données de turbidité ou de la concentration en MES pour les eaux de ruissellement sur ces deux sites et pour les événements pluvieux étudiées. Nous avons donc transposé des données disponibles sur le site du Marais à Paris sont des concentrations moyennes événementielles des eaux de ruissellement pour trois types de surface et de données de la littérature pour Ecully.

Nous n'avons pas une base de données de calibration MES-Turbidité spécifiques à Clichy. Nous avons donc utilisé les données nantaises à CB et SM car ceci a été vérifié qu'on peut les utilisées à Paris où il n'y avait pas assez de données pour établir une relation MES-Turbidité spécifique à Paris.

➤ **Bilan de masse entrée-sortie:**

$$M_{\text{Stock}} = M_{\text{Exutoire}} - M_{\text{Eaux Usées}} - M_{\text{Eaux de Ruissèlement}}$$



➤ **Progrès /travaux passés:**

- Base de données représentative
- Evaluation des incertitudes sur la masse exutoire
- Evaluation de la variabilité et des incertitudes sur la masse des entrées:
 - Eaux usées et eaux de ruissellement : modèle stochastique

On utilise une approche de bilan de masse entre l'entrée et la sortie du réseau de deux bassins versants a été réalisée: Clichy à Paris et Ecully à Lyon. L'objectif est de comparer la contribution de dépôts sur deux sites de caractéristiques différentes.

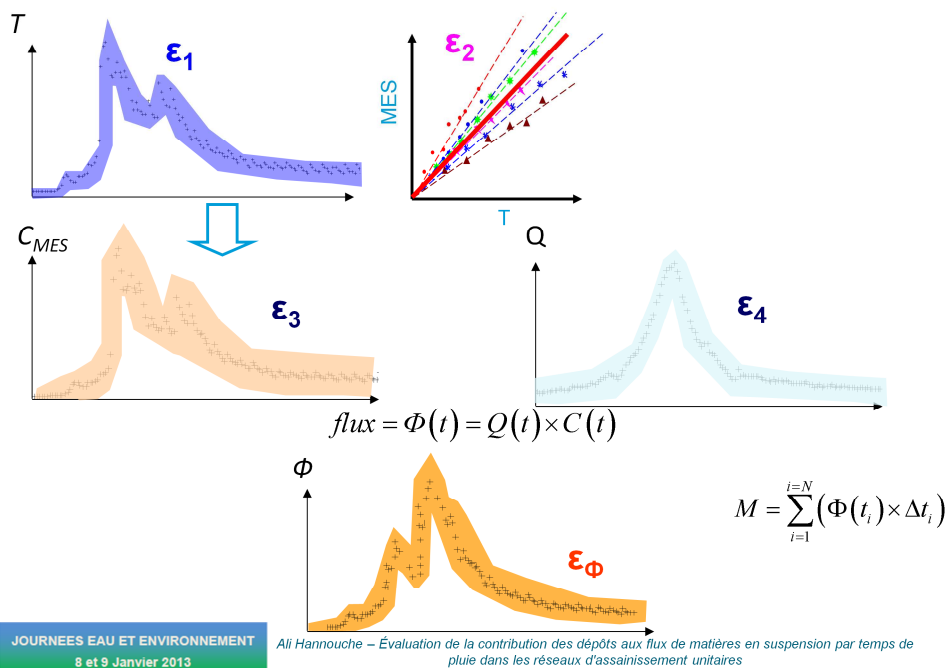
La masse échangée avec le réseau est la différence entre la sortie (exutoire) et l'entrée (Eaux de ruissellement et eaux usées). On l'appelle dans la suite: Stock

L'importance des dépôts a déjà été soulignée dans des études antérieures. Par ailleurs la quantification précise des différentes entrées (eaux usées, eaux de ruissellement), de la sortie et de leur variabilité a souvent été abordée de manière simplifiée

Le progrès par rapport aux travaux passés est le grand nombre d'événement utilisé, l'évaluation des incertitudes sur la masse à l'exutoire (comme on a vu ça avant).

Aussi nous avons évalué la variabilité des eaux usées et des eaux de ruissellement par de modèle stochastique

Masse à l'exutoire: 2 méthodes différentes



En premier temps nous allons nous intéresser à l'évaluation de la masse événementielle à l'exutoire du réseau.

Le flux de MES est le produit du débit Q et de la concentration C de MES

Le pollutogramme en MES est obtenu à partir de celui de la turbidité mesurée en continu et d'une relation de calibration MES-Turbidité.

Les incertitudes sur la turbidité et la variabilité de relations MES-Turbidité permettent d'estimer les incertitudes sur la concentration en MES.

Ces incertitudes et celles sur le débit permettent d'estimer les incertitudes sur le flux instantané.

Ce flux est cumulé à l'échelle de l'événement pour estimer une masse et l'incertitude associée.

à Clichy, nous avons utilisé une relation par événements pour estimer les incertitudes car nous avons observé que la relation MES-Turbidité (FAU) varie moins à l'intérieur d'un événement que d'un événement à un autre.

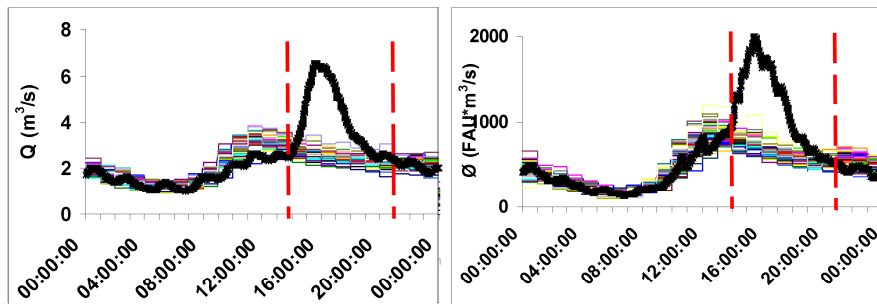
à Ecully, nous avons utilisé une relation moyenne (polynôme de 2nd degré) établie pour ce site en tenant compte des erreurs résiduelles

Masse des eaux usées: 2 méthodes différentes

Clichy à Paris

➤ **Modèle stochastique qui simule un hydrogramme et un pollutogramme de flux journaliers basés sur deux composantes:**

- **Variabilité inter-journalière des volumes et des masses: facteur saisonnier**
- **Répartition relative des volumes et des masses horaires à l'intérieur de la journée: profils des jours ouvrables et jour fériés**
- **Prise en compte des corrélations entre les différentes variables**



Pour calculer la masse des eaux usées sur le site de Clichy, nous avons proposé un modèle stochastique qui simule un hydrogramme et un pollutogramme de flux journaliers basés sur deux composantes: une composante représente la variabilité interjournalière des volumes et des masses. Cette variabilité est affinée en introduisant le facteur saisonnier;

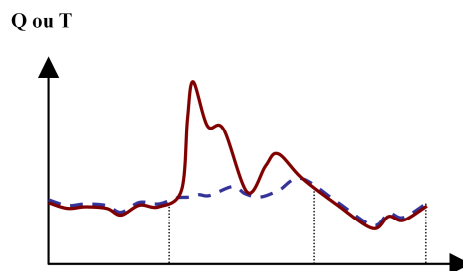
une deuxième composante représente la répartition relative des volumes et des masses à l'intérieur d'une journée ainsi que la variabilité interjournalière de cette répartition. Cette composante est modélisée par plusieurs profils moyens dont le nombre est optimisé par une classification automatique. le modèle prend en compte les corrélations entre les différentes tranches horaires en valeurs absolues et relatives.

Ainsi pour calculer la contribution des eaux usées aux flux événementiels, on simule plusieurs journées. Ensuite, on calcul la distribution de cette contribution.

Masse des eaux usées: 2 méthodes différentes

Ecully à Lyon (Métadier 2011):

- Recherche de signaux de « référence » de débit et de turbidité d'eaux usées de temps sec les plus proches possible aux début et à la fin de signaux de l'événement pluvieux



- Prise en compte des incertitudes de mesure et des incertitudes de substitution: dues au choix du signal de référence

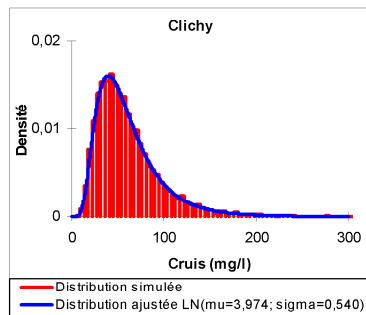
Pour le site d'Ecully, nous avons utilisé la méthode proposée par Métadier qui consiste à rechercher les signaux appelés de référence de débit et ceux de turbidité de eaux usées de temps sec les plus proches possible aux début et à la fin des signaux de l'événement pluvieux.

Les auteurs estiment les incertitudes par des incertitudes de mesure et des incertitudes de substitution dues au choix de signal de référence le plus proche possible de celui de l'événement pluvieux

Masse des eaux de ruissellement: absence des données pour les événements pluvieux étudiés

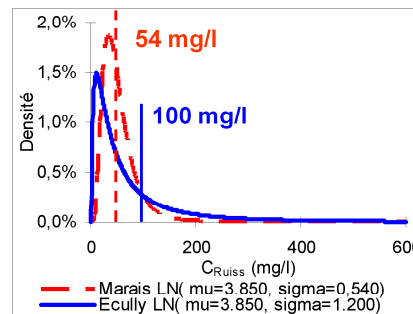
Clichy à Paris

- Données parisiennes acquises sur le Marais
- Mêmes natures de surface et type d'urbanisation
- Nettoyage des voiries



Ecully à Lyon

- Bassin versant résidentiel sans nettoyage de voiries
- $\hat{C}_{(Ecully)}=100\text{mg/l} > \hat{C}_{(Marais)}=54\text{ mg/l}$
- $\sigma_{(Ecully)}=175\text{mg/l} > \sigma_{(Marais)}=35\text{ mg/l}$
- Données de la littérature



$$M = C_m * V_{\text{ruiss}}$$

$$V_{\text{Ruiss}} = V_{\text{Exut}} - V_{\text{EU}}$$

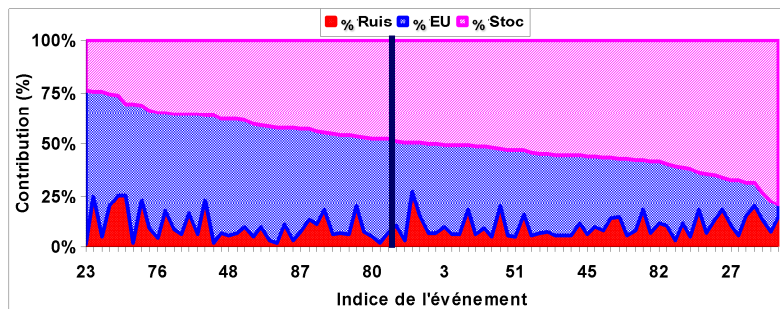
Pour le site de Clichy, nous avons utilisé les données disponibles sur le site du Marais à Paris : nous avons ajusté de lois lognormales pour ces données. Comme l'occupation de sol de Clichy et du Marais sont semblable, nous avons estimé la distribution de cette concentration sur le site de Clichy qui peut être ajustée par une loi lognormale aussi.

pour le site d'Ecully à Lyon, l'occupation du sol est différente de celle du paris. le bassin versant est du type résidentiel sans nettoyage de voiries.

La moyenne et la dispersion de Cruis à Ecully ont été choisies plus importantes à partir de données de la littérature

La masse des eaux de ruissellement sera alors le produit de cette concentration et du volume des eaux de ruissellement calculé par différence entre le volume à l'exutoire et le volume d'EU

Clichy à Paris (~90 événements pluvieux)



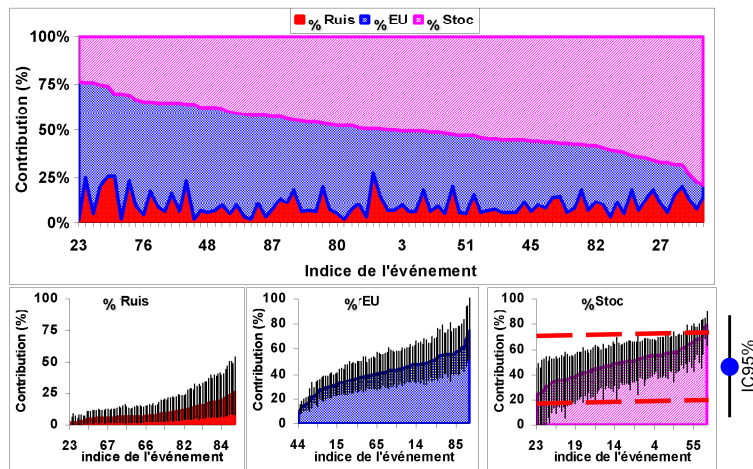
- Contribution majeure des dépôts: médiane 50%
- Contribution importante des EUTS (médiane 40%)
- Faible contribution des eaux de ruissellement (médiane 10%)

Les résultats obtenus sur le site de Clichy sont illustrée sur cette figure. On observe la contribution moyenne de chaque source à la masse d'un événement pluvieux ordonnée suivant la contribution du stock.

Par exemple pour cet événement pluvieux

Elle montre une contribution importante du réseau sur la masse événementielle transportées à l'exutoire de Clichy. En médiane, cette contribution est de l'ordre de 50%, celle des eaux usées aussi importante de l'ordre de 40% et une contribution faible des eaux de ruissellement environ 10%

Clichy à Paris (~90 événements pluvieux)

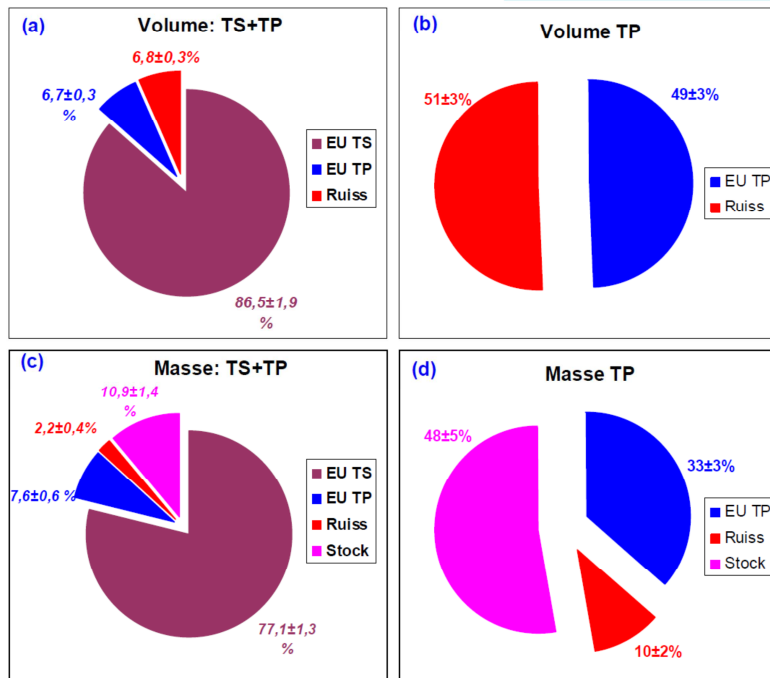


- Contribution dépôts: 80% des événements ~ 20- 70%
- Conclusions confirmées malgré les incertitudes

Les graphiques en bas indiquent les incertitudes sur chaque contribution. Ce graphique montre que dans 80% des événements étudiés la contribution du dépôts est surement > de 20% à 70%

Certes qu'il des grosses incertitudes, néanmoins les conclusions de travaux passés sont confirmés et consolidés avec une méthode fiable qui tient compte de toutes les variabilités et les incertitudes qui affectent les entrées et sorties.

CONTRIBUTION DES SOURCES: CONTRIBUTION ANNUELLE À CLICHY

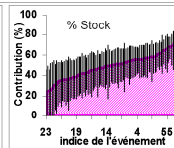
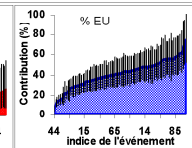
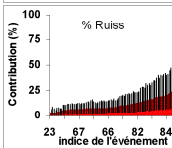
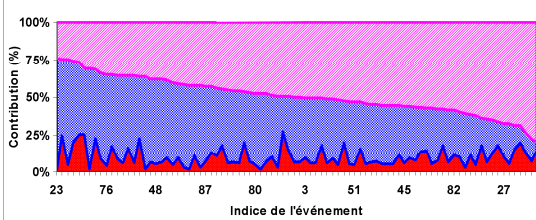


à l'échelle annuelle à Clichy, les eaux usées restent la source majeure par temps sec et temps de pluie;
par temps de pluie, le Stock contribue à 48±5% à la masse des événements pluvieux.

CONTRIBUTION DES SOURCES: CLICHY VS ECULLY

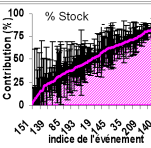
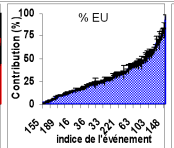
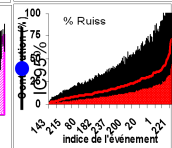
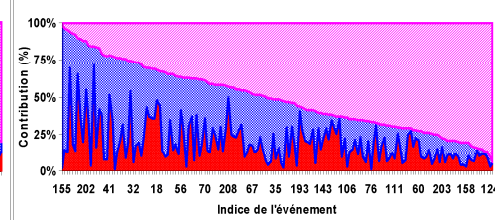
Clichy à Paris

~90 événements pluvieux



Ecully à Lyon

~200 événements pluvieux



➤ Importance de contribution de dépôt n'est pas spécifique au réseau parisien (faible pente): le réseau d'Ecully (pente forte, pas de zones connues d'accumulation de dépôts)

➤ Le dépôt reste à identifier/localiser

Des résultats similaires ont été obtenus sur le site d'Ecully. L'importance de cette contribution du réseau n'est pas spécifique au réseau parisien de faible pente et surdimensionné pour les écoulements de temps sec, mais elle reste importante dans un réseau d'assainissement comme celui d'Ecully qui a une pente forte et ne présente pas de zones connues d'accumulation de dépôts

Il reste à identifier et localiser ces dépôts.

➤ **Stock ou variations du flux d'eaux usées?**

- Absence d'accumulation par temps de pluie
 - Masse annuelle érodée \approx masse annuelle sédimentée
 - Recalcul des flux d'eaux usées par temps de pluie
 - Taux de sédimentation par temps sec: 10% de flux journalier d'EU
- Contribution de stocks: 65% des événements \sim 20- 70%

➤ **Interprétation en termes de localisation du stock sur le site de Clichy (E=Épaisseur de la couche érodée)**

- $L_1=5000$ m (Collecteur principal) → E~1 à 3mm
- E=5cm (Ahyerre 1999; Oms 2003) → $L_2\sim 100$ à 300 m

nous avons fait l'hypothèse que les eaux usées de temps de pluie ne diffèrent pas des celles de temps sec. Mais si elles ne sédimentent pas par temps de pluie et que la sédimentation ne peut se produire que par temps sec, l'hypothèse de calcul constitue une approximation dont il est important d'évaluer l'impact sur la contribution de réseau. Pour cela, nous avons reparti la masse érodée à l'échelle de l'année sur les durées de temps sec et nous avons recalculé les flux d'eaux usées par temps de pluie. Le résultats montre que le taux de sédimentation par temps sec est de l'ordre de 10% de flux journalier d'EU. Ce qui fait que la contribution de stocks diminue de 5 à 10% et 65% des événements ont une contribution entre 20 et 60%.

Nous avons aussi posé de questions sur la répartition de stock

Si le stock érodable est reparti le long du collecteur principal sur 5 Km, nous ne le voyons pas. Son épaisseur varie entre 1 à 3 mm.

Ou pour une épaisseur moyenne de 5 cm observée par Ahyerre et Oms sur le site du Marais, il se situe sur 100 à 300 mètres dans le collecteur principal qui représente 3% de longueur de ce collecteur

- ✓ La contribution importante d'un stock en réseau aux masses événementielles est confirmée, et étendue à un site dépourvu de zones d'accumulation identifiées ou présumées (fortes pentes)
- ✓ Ce résultat est fiabilisé grâce à l'utilisation de bases de données représentatives (inter-observatoires) et de méthodes de calcul d'incertitudes spécifiquement développées
- Progresser dans la connaissances des flux entrant dans le réseau par temps sec et par temps de pluie
- Identifier la localisation potentielle des stocks / homogénéité spatiale
 - **Analyse morphologique du réseau/ paramètres hydrauliques**
- **Mieux comprendre les processus de mobilisation**
 - **Expérimentation à l'échelle locale**
 - **Simulation de divers scénarios pour la localisation et la nature des stocks**

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

ali.hannouche@leesu.enpc.fr

