



# Eaux pluviales : Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

**graie**

**GRANDLYON**  
communauté urbaine



OBSERVATOIRE  
DE TERRAIN  
EN HYDROLOGIE  
URBAINE



Rhône-Alpes<sup>Région</sup>

Techni.Cités

Jeudi 9 février 2012  
Espace Tête d'Or  
Lyon/Villeurbanne (69)



sur papier recyclé Cyclus **Papier recyclé**



**GROUPE DE RECHERCHE RHÔNE-ALPES  
SUR LES INFRASTRUCTURES ET L'EAU**

Domaine scientifique de la doua - 66, Boulevard Niels Bohr - B.P. 52132 - 69603 Villeurbanne Cedex  
Tél. : 33 (0)4 72 43 83 68 – Fax.: 33 (0)4 72 43 92 77  
E.mail: asso@graie.org – www.graie.org





## SOMMAIRE

<b>Programme</b> .....	3		
<b>Avant propos</b> .....	4		
<b>L'OTHU –Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine</b> .....	5		
<b>Supports d'interventions</b>			
OTHU : Histoire d'un outil d'observation et de recherche au service des acteurs opérationnels <i>Sylvie BARRAUD , Directrice de l'OTHU, INSA de Lyon (LGCIE)</i> .....	6	Quand la ville fabrique la nature <i>Sébastien AH-LEUNG, Jean-Yves TOUSSAINT, INSA de Lyon (EVS ITUS)</i> .....	62
Pourquoi s'intéresser à la pollution et à la contamination des eaux pluviales <i>Katy POJER, Agence de l'eau RM&amp;C</i> .....	6	Colonisation végétale des bassins d'infiltration et de rétention des eaux pluviales <i>Muriel SAULAIS, ENTPE (LEHNA IPE) / CERTU</i> .....	66
Éclairage particulier sur les micropolluants <i>Céline BECOUZE-LAREURE, Christel SEBASTIAN, INSA de Lyon (LGCIE) - Johnny GASPERI, Université Paris Est (LEESU-OPUR)</i> .....	12	Rôle des végétaux sur le colmatage des ouvrages d'assainissement <i>Sylvie BARRAUD, Carolina GONZALEZ-MERCHAN, INSA de Lyon (LGCIE)</i> .....	72
Éclairage sur les pathogènes <i>Céline COLINON, Benoit COURNOYER, Université Lyon 1 / VetAgroSup / CNRS</i> .....	26	Toitures végétalisées : quelques éléments sur la recherche en cours <i>Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI, INSA de Lyon (LGCIE)</i> .....	80
Suivi et mesure des RUTP : un enjeu pour les collectivités <i>Régis VISIEDO, Grand Lyon</i> .....	36		
La mesure en continu des débits et des flux polluants en hydrologie urbaine: intérêt, traitement et valorisation <i>Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI, INSA de Lyon (LGCIE)</i> .....	40	<b>Références</b> .....	84
Mesure en continu des débits sur les courts d'eau péri-urbains <i>Flora BRANGER, IRSTEA UR HH</i> .....	40		
Bio-indication – Connaissance de l'état de la nappe et conséquences des infiltrations par temps de pluie <i>Pierre MARMONIER, Chafik MAAZOUZ, Université Lyon 1 (LEHNA E3S)</i> .....	44		
Vers le développement de méthodes de suivi in situ : exemple d'un biocapteur algal <i>Claude DURRIEU, Yannis FERRO, ENTPE (LEHNA IPE)</i> .....	52		

### AU VERSO

#### Présentation détaillée de l'OTHU



## PROGRAMME

<b>ACCUEIL</b>	<b>09H00</b>
<b>Ouverture</b> – Christian Bonnefoy, Directeur Adjoint de la Direction de l'eau du Grand Lyon – Cécile Bernard, Grand Lyon	<b>09h30</b>
<b>OTHU : Histoire d'un outil d'observation et de recherche au service des acteurs opérationnels</b> Sylvie BARRAUD, Directeur de l'OTHU	<b>09h45</b>
<b>1- Pollution et contamination des eaux pluviales – Nouvelles avancées</b>	
<b>Pourquoi s'intéresser à la pollution et à la contamination des eaux pluviales</b> Katy POJER, Agence de l'eau RM&C	<b>10h05</b>
<b>QUELS CONTAMINANTS DANS LES REJETS URBAINS DE TEMPS DE PLUIE ?</b> <b>Éclairage particulier sur les micropolluants</b>	<b>10h15</b>
Céline BECOUZE-LAREURE, Christel SEBASTIAN, INSA de Lyon (LGCIE) - Johnny GASPERI, Université Paris Est (LEESU-OPUR)	
<b>Éclairage sur les pathogènes</b>	<b>10h55</b>
Céline COLINON, Benoit COURNOYER, Université Lyon 1 / VetAgroSup / CNRS	
<b>2- Suivre et mesurer les eaux pluviales et leurs impacts – Nouvelles avancées</b>	
<b>Suivi et mesure des RUTP : un enjeu pour les collectivités</b>	<b>11h30</b>
Régis VISIEDO, Grand Lyon	
<b>La mesure en continu : intérêt, traitement et valorisation</b>	<b>11h40</b>
Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI, INSA de Lyon (LGCIE)	
<b>DEJEUNER</b>	<b>12H15</b>
<b>Bio-indication – Connaissance de l'état de la nappe et conséquences des infiltrations par temps de pluie</b>	<b>13h40</b>
Pierre MARMONIER, Chafik MAAZOUZI, Université Lyon 1 (LEHNA E3S)	
<b>Vers le développement de méthodes de suivi in situ : exemple d'un biocapteur algal</b>	<b>14h10</b>
Claude DURRIEU, Yannis FERRO, ENTPE (LEHNA IPE)	
<b>PAUSE</b>	<b>14H40</b>
<b>3- Ouvrages – Rôles de la végétation – Nouvelles avancées</b>	
<b>Quand la ville fabrique la nature</b>	<b>15h00</b>
Sébastien AH-LEUNG, Jean-Yves TOUSSAINT, INSA de Lyon (EVS ITUS)	
<b>Colonisation végétale des bassins d'infiltration et de rétention des eaux pluviales</b>	<b>15h15</b>
Muriel SAULAIS, ENTPE (LEHNA IPE) / CERTU	
<b>Rôle des végétaux sur le colmatage des ouvrages d'assainissement</b>	<b>15h45</b>
Sylvie BARRAUD, INSA de Lyon (LGCIE)	
<b>Toitures végétalisées : quelques éléments sur la recherche en cours</b>	<b>16h15</b>
Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI, INSA de Lyon (LGCIE)	
<b>SYNTHÈSE</b> - Sylvie BARRAUD, Directeur de l'OTHU – Élisabeth SIBEUD, Grand Lyon	<b>16h45</b>
<b>FIN DE JOURNÉE</b>	<b>17H00</b>



## AVANT PROPOS

### **Connaissance, mesure et suivi des rejets urbains de temps de pluie et de leurs impacts pour une meilleure gestion des ouvrages et une optimisation des pratiques**

La gestion des eaux pluviales est aujourd'hui reconnue comme une composante majeure de la gestion des territoires.

Nul n'est besoin de rappeler que notre façon d'occuper la ville impacte significativement notre environnement. Par exemple, l'imperméabilisation et la gestion centralisée des eaux pluviales par des réseaux :

- modifient fortement les quantités à gérer (augmentation des volumes et débits de pointe, limitation de l'évapotranspiration, diminution de l'infiltration, ...),
- limitent la réalimentation des nappes souterraines,
- dégradent la qualité des eaux par lessivage des polluants émis par la ville.

Ces rejets, sources potentielles importantes de polluants tels que métaux lourds, hydrocarbures et autres composés organiques naturels ou de synthèse, constituent donc possiblement une menace pour les milieux aquatiques recevant ces eaux.

Du fait de la montée en puissance des stratégies alternatives de gestion des eaux pluviales visant, pour beaucoup, à mettre à profit les espaces urbains et la végétation et, d'autre part, du fait de l'accroissement des exigences réglementaires (notamment l'atteinte du bon état écologique des masses d'eau d'ici 2015), les collectivités ont besoin de bien connaître l'état des rejets et leurs conséquences pour les milieux.

Cependant, la compréhension des phénomènes liés à ces rejets de temps de pluie est complexe. C'est pourquoi l'OTHU s'est construit avec l'ambition de constituer un réseau pluridisciplinaire d'observations et de collecte de données intensives, pérennes et fiables, ou du moins avec des incertitudes maîtrisées. Les équipes de l'OTHU travaillent ainsi depuis plus de 10 ans sur cette thématique, en associant des compétences complémentaires : hydrologie, microbiologie, biologie, physico-chimie, géomorphologie, science du sol, climatologie, sciences sociales...

Ces travaux qui se poursuivent, ont d'ores et déjà des retombées opérationnelles très nombreuses exposées au cours de la journée.



## L'OTHU – OBSERVATOIRE DE TERRAIN EN HYDROLOGIE URBAINE

### L'OTHU

L'OTHU est un laboratoire de recherche hors murs mis en place en 1999. C'est une structure fédérative de recherche reconnue par le Ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur (FED 4161) depuis mai 2011.

Il repose sur un ensemble de dispositifs de mesure installés sur le système d'assainissement de la Communauté urbaine de Lyon et sur les milieux récepteurs recevant les effluents issus de ce système. Deux types de milieux récepteurs jugés particulièrement sensibles sont étudiés : les eaux souterraines et les petites rivières périurbaines.

L'OTHU constitue le support de travaux de recherche menés depuis 1999 par plus de 85 chercheurs, issus de 12 équipes de recherche lyonnaises (membres pour la plupart du laboratoire d'excellence IMU - Intelligences des Mondes Urbains), en étroite collaboration avec les acteurs de terrain.

L'OTHU est un des sites de la ZABR - Zone Atelier Bassin du Rhône - laquelle vise à structurer et valoriser la recherche dans le domaine de l'eau sur le bassin versant du Rhône. L'OTHU est également l'un des 16 observatoires du pôle Envirhonalp.

Enfin l'OTHU est l'un des fondateurs d'URBIS - Réseau des Observatoires Français en Hydrologie Urbaine - qui réunit depuis 2008 : OPUR en Région parisienne, OTHU sur le Grand Lyon, et ONEVU sur Nantes Métropole. URBIS est constitué depuis 2010 en SOERE (Système d'observation et d'expérimentation sur le long terme pour la recherche en Environnement)

**Informations complémentaires : <http://www.othu.org>**

### LES JOURNÉES TECHNIQUES DE L'OTHU

Le souci de répondre aux attentes des acteurs de terrain est très présent au sein de l'OTHU. C'est l'un des fils conducteurs pour la définition même des programmes de recherche basés sur l'observatoire.

Les chercheurs et leurs partenaires souhaitent également mettre à la disposition du plus grand nombre les résultats de recherches directement applicables.

C'est pourquoi, l'OTHU organise une journée technique tous les deux ans et publie des fiches techniques. Ces fiches disponibles sur internet sont réalisées avec le concours du CERTU. Elles regroupent les résultats marquants et opérationnels obtenus au cours des dernières années de recherche (Lien).



## **OTHU : Histoire d'un outil d'observation et de recherche au service des acteurs opérationnels**

---

Sylvie BARRAUD, INSA de Lyon ( LGCIE)  
Directrice de l'OTHU



5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**OTHU**

Histoire d'un outil d'observation et de recherche au service des opérationnels

**Sylvie BARRAUD**  
Directrice de l'OTHU – INSA LGCIE

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

GRANDLYON

Espace Tête d'Or – LYON/VILLEURBANNE – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**OTHU**

Résultat d'un long processus de collaboration entre milieu universitaire et le Grand Lyon

1975 - 1980  
SERAIL  
Hydraulique des réseaux

1985 - 1990  
GESICA  
Outils de CAO  
Gestion globale

1990 - 1999  
Exp. Ponctuelle (Qualité /Gestion Intégrée)

**OTHU**

**grate**

GRATE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

Pendant la même période  
Approche Statistique  
US National Stormwater Quality Database (NSQD)

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

Commercial  
Voirie  
Industriel/Equipement public  
Espace public  
Résidentiel

Commercial  
Voirie  
Industriel/Equipement public  
Espace public  
Résidentiel

(Pitt et al, 2004)

**Gamme étendue de polluants, >1000 sites, >1500 évènements**

GRATE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

National Stormwater Quality Database (US BMP-DataBase)

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

% MES retenues

Bioswales  
Detention Basins  
Media Filters  
Hydro-Dynamic Devices  
Retention Basins  
Wetlands

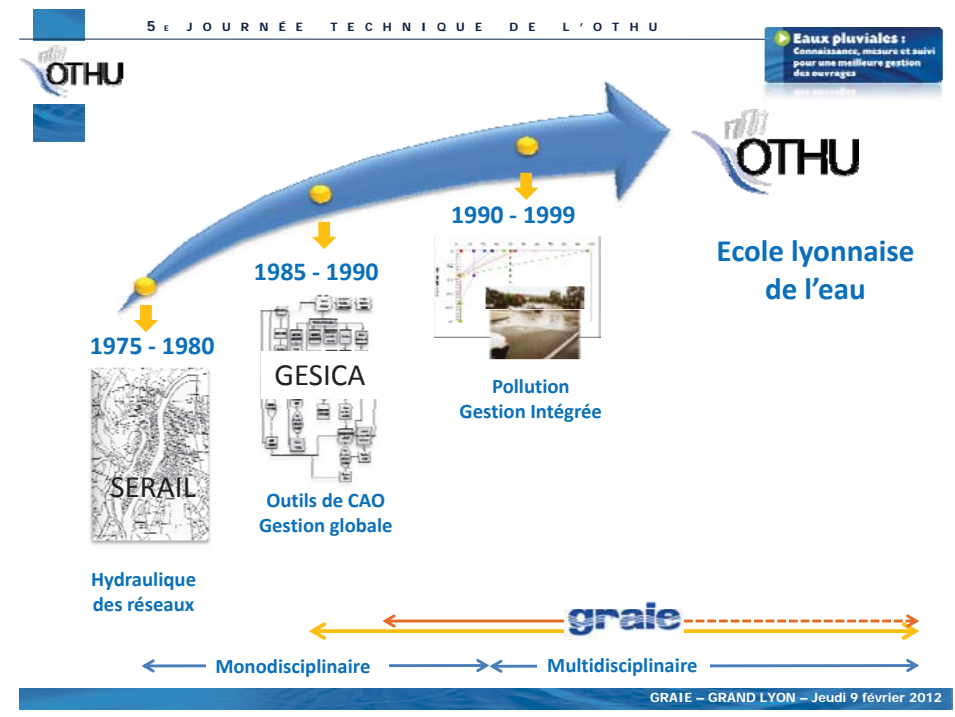
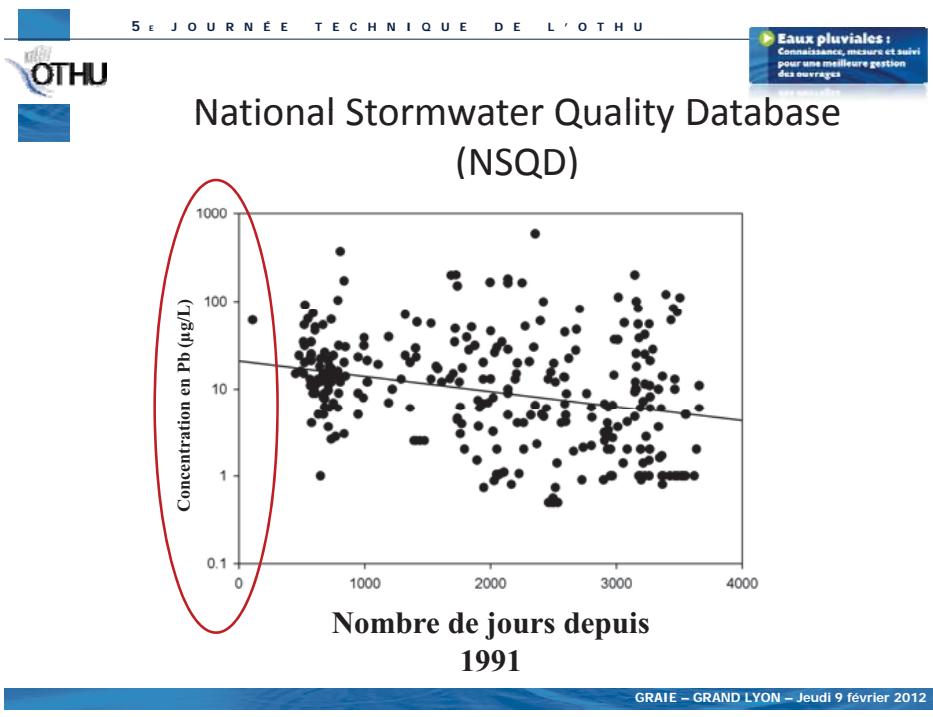
MES en sortie (mg/L)

Fossés  
BR Hydr.  
Sep. Hydr.  
BR/BD  
Bassin en eau

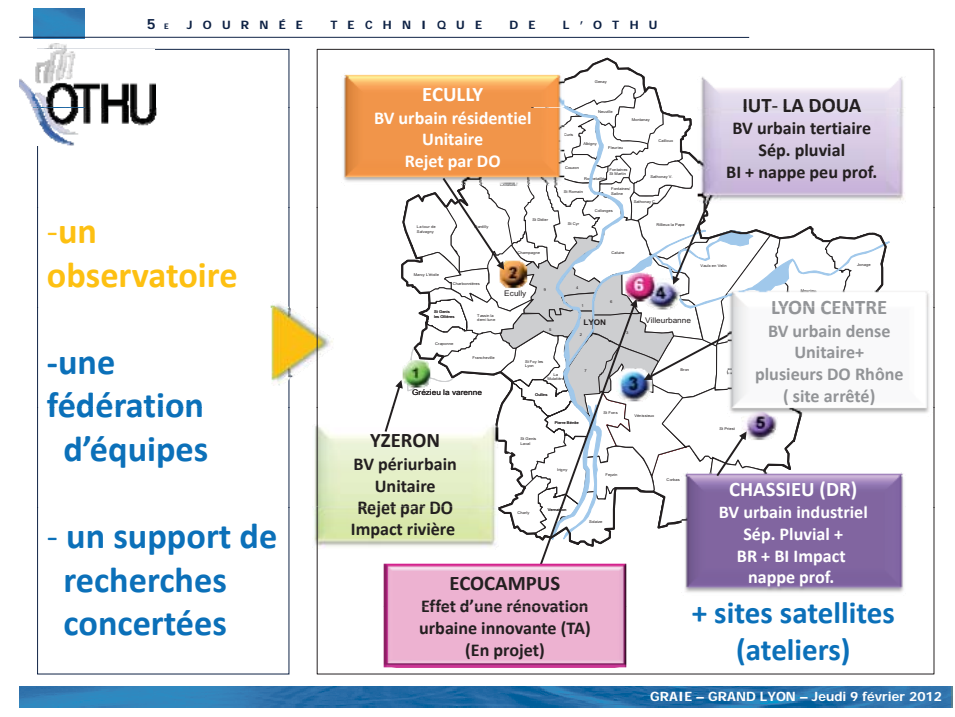
170 systèmes 1500 évènements

(Strecker et al, 2004)

GRATE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



- 5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU
- OTHU**
- 1999**
- un observatoire
  - une fédération d'équipes
  - un support de recherches concertées
- GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012







## Parti pris des instrumentations

- **Système d'observation *in situ***
- **Systèmes métrologiques pérennes, intensifs, continu**
  - meilleure appréhension des dynamiques + long terme
- **Données fiables qualifiées en terme d'incertitude**
- **Vision pluri / interdisciplinaire intégrant toute forme de savoirs**
  - Connaissance opérationnelle experte / Savoir scientifique
  - Analyser les systèmes dans leur globalité

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



## Parti pris

### Suivis « exemplaires » sur ... des sites non exemplaires (Grands syst.)



### Suivis moins exemplaire(s) sur des sites moins traditionnels



## Objectifs

- **Comprendre, mesurer et modéliser**
  - les flux d'eau et de polluants / contaminants en milieu **urbain / périurbain** :
    - mécanismes générateurs
    - dynamique des flux
    - effets sur les milieux (rivières / nappes)
  - l'efficacité des systèmes de gestion des eaux
- **Améliorer les pratiques**
  - Procédures & équipements métrologiques relatifs aux RUTP et de leurs impacts sur les milieux
  - Conception et la gestion des ouvrages
  - Outils d'aide à la décision

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



-un observatoire

-une fédération d'équipes




## Compétences mobilisées

- Climatologie
- Hydrologie
- Hydraulique / Mécanique des fluides
- Géographie
- Hydromorphologie
- Biologie
- Hydrobiologie
- Microbiologie
- Chimie
- Géologie, Science du sol
- Sociologie / économie / DU

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU




**OTHU**

- un observatoire
- une fédération d'équipes
- un support de recherches concertées

- Co-construit avec les opérationnels (**Prg finalisé**)
- Projets **ANR nationaux** (AVuPUR, INTEGREAU, SEGTEUP, OMEGA, INOGEV, CABRES...)
- Projet Européen FP7 **PREPARED**
- Projet de recherche soutenu par un pôle de compétitivité **ESPRIT –RHODANOS** ( Pole Axelera)

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU



**OTHU**


**Prg finalisé 2007**

- un observatoire
- une fédération d'équipes
- un support de recherches concertées

- Amélioration de la connaissance locale de la pluie
- Gestion des déversoirs d'orage
- Gestion des rivières périurbaines
- Conception & Gestion des syst. rétention / infiltration
- Améliorer la protection des ressources en eau de l'agglomération lyonnaise
- Métrologie

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE



**OTHU**

**Prg finalisé 2011**

- un observatoire
- une fédération d'équipes
- un support de recherches concertées


**Mêmes thématiques à poursuivre avec focus sur :**

- Amélioration de la **mesure en continu** (procédures, micro capteurs, bio-indicateurs)
- Quels polluants et quels **contaminants dangereux** suivre en relation avec les pratiques urbaines ?
- Meilleure connaissance dimension **santé** (contaminants microbiens et écotoxicité)
- Meilleure connaissance dimension **sociale** (conditions d'adoption, qualité de service, acceptation)
- Problématique Ville / Nature (**végétalisation, renaturation**)
- Impact des **changements globaux**

GRAIE – Grand Lyon

**gralie Valorisation**

**Plus de 20 millions de données acquises en continu ont été rassemblées par exemple entre 2006 et 2008.**



<http://www.othu.org>

Les petites rivières périurbaines : Connaissance des impacts, recommandations de gestion, aide à la décision

Programme ECOPLES

L'infiltration en questions

GRAIE – GRAND LYON

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**-un observatoire**

**-une fédération d'équipes**

**- un support de recherches concertées**

**SOERE URBIS**

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Objectifs de la journée**

- ▶ Prendre connaissances des avancées de l'observatoire
- ▶ Apporter des éléments de réponses à vos questions opérationnelles
- ▶ Échanger pour enrichir les réflexions sur les thèmes de recherche à développer en appui sur l'OTHU ( perspectives).

**Très bonne journée à tous !**

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**La 5<sup>e</sup> Journée thématique de l'OTHU**

**- Structure -**

<b>10h00</b>	<b>Pollution et contamination des eaux pluviales</b> – Nouvelles avancées – Micropolluants et pathogènes
<b>11h30</b>	<b>Suivre et mesurer les eaux pluviales et leurs impacts</b> – Nouvelles avancées et perspectives
<b>15h00</b>	<b>Ouvrages – Rôles de la Végétation</b> – Nouvelles avancées

GRANDLYON

Espace Tête d'Or – LYON/VILLEURBANNE – Jeudi 9 février 2012





## **Pourquoi s'intéresser à la pollution et à la contamination des eaux pluviales**

---

Katy POJER, Agence de l'eau RM&C



## *Pourquoi s'intéresser à la pollution et à la contamination des eaux pluviales*

---

Katy POJER, Agence de l'eau Rhône Méditerranée & Corse - Direction des Interventions et des Actions de Bassin (DIAB)

Depuis plusieurs années, l'agence observe une nette amélioration de la contamination des milieux sur certains paramètres. Dans 90% des points de surveillance, l'agence a constaté une absence de pollution organique contre 70% en 1991. Cependant, toute pollution n'a pas disparue. Certains milieux, par exemple, sont contaminés par les substances dangereuses. Environ 30% des points de surveillance ne sont pas en bon état chimique et l'origine de cette pollution est principalement diffuse.

Les bons résultats sur la pollution organique sont en lien direct avec la mise en conformité des stations de traitement des eaux usées par rapport à la directive Eaux Résiduaires Urbaines qui a permis d'augmenter le taux d'épuration des eaux usées de 67 à 93%. Après être intervenue avec succès sur les rejets ponctuels directs, l'agence se lance maintenant de nouvelles priorités dont la réduction de la pollution pluviale.

Motivée par la réduction de la pollution domestique, l'agence intervient déjà sur la réduction des pollutions pluviales par des aides sur les réseaux (mise en séparatif, bassins d'orage...). Sur les milieux prioritaires au titre de la pollution domestique, elle peut financer des ouvrages de traitement des eaux pluviales ou des déplacements de point de rejet.

Pour le 10ème programme d'intervention actuellement en cours d'élaboration, l'agence veut donner un coup d'accélérateur à cette politique. Tout en continuant sur des interventions réseaux classiques, l'agence souhaite également promouvoir davantage la réduction à la source. Autrement dit, éviter que les eaux de pluie ne saturant les réseaux unitaires et provoquent des déversements excessifs sans traitement au milieu. Pour cela, une incitation forte sera mise en place sous forme d'un appel à projets pour la mise en place de techniques alternatives.

Mais au-delà de ces interventions, l'agence se pose des questions concernant la pollution non organique issue des RUTP et du risque potentiel des eaux strictement pluviales.

Pour décider d'une intervention, l'agence a besoin d'estimer le risque relatif des RUTP par rapport aux autres sources.

Certaines substances dangereuses d'origine diffuse peuvent elles avoir un impact sur le milieu ? Quelle est la durée de cet impact ? Etc.

Peut-on déterminer des typologies de substances par rapport à la surface imperméabilisée et aux usages à proximité ?

Les pathogènes véhiculés par les RUTP peuvent-ils avoir des conséquences sanitaires ? Faut-il être vigilant sur les zones fragiles (conchylicoles, baignade...) ou sur toutes les zones ?

Et au-delà d'une meilleure connaissance du risque, l'agence a besoin de connaître les solutions à mettre en œuvre. Faut-il stocker et restituer ? Infiltrer ? Faut-il traiter les eaux pluviales dans certaines conditions ? Etc.

C'est pour répondre à toutes ces questions que l'agence s'intéresse aux recherches en cours et particulièrement aux travaux de l'OTHU.



## Pourquoi s'intéresser à la pollution et à la contamination des eaux pluviales

Agence de l'eau RM&C - K.Pojer

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



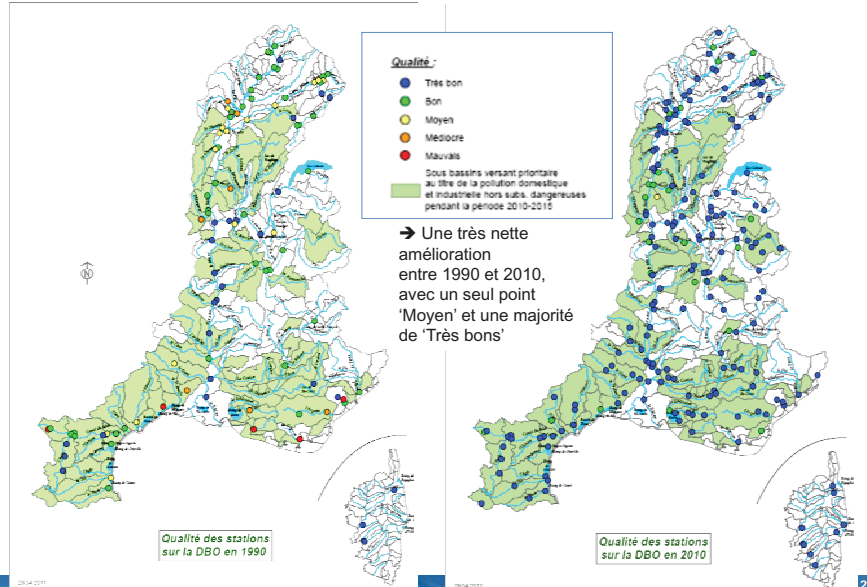
## Pourquoi l'agence s'intéresse aux RUTP

### Le bon état des eaux en 2015

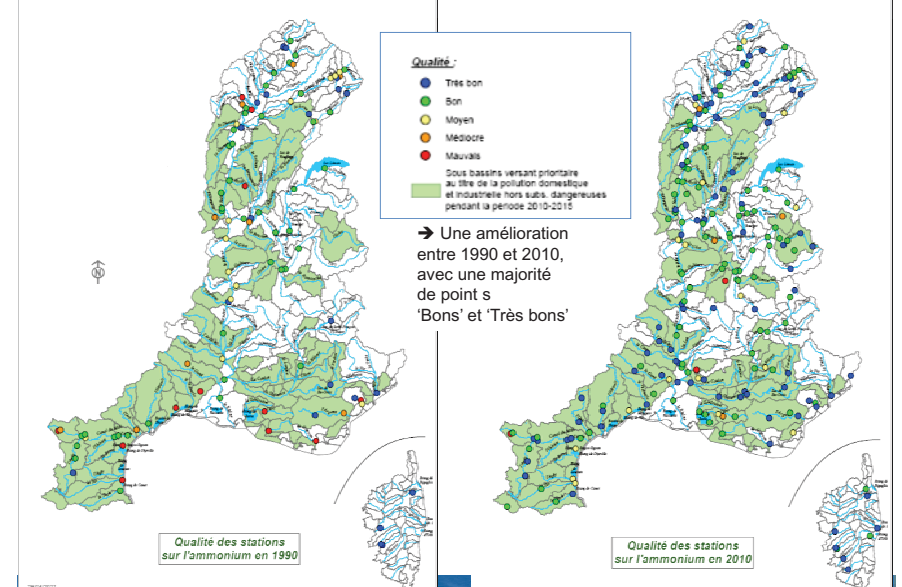
- ▶ Une nette amélioration sur certains paramètres grâce à la mise en conformité des stations de traitement des eaux usées par rapport à la Directive ERU
- ▶ Mais encore des efforts à faire sur certains milieux et certains contaminants

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

## Les résultats sur le milieu – la DBO5



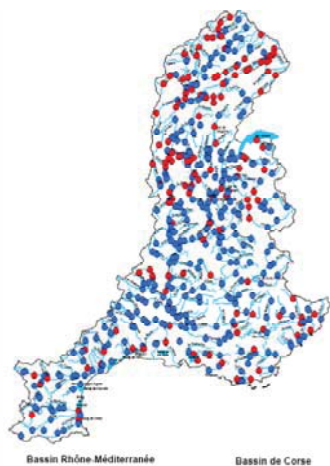
## Les résultats sur le milieu – l'ammonium





Etat chimique 2007 2008 2009

Classes d'état

● Bon état  
● Non atteinte du bon état

## Les résultats sur le milieu - l'état chimique -

➤ les substances déclassantes sont principalement d'origine diffuse (HAP, pesticides...)

Bassin Rhône-Méditerranée	Bassin Corse
Etat chimique – RCS	
356 stations 70% Bon état 30% non atteint	22 stations 86% Bon état 14% non atteint
Etat Chimique – CO toxiques	
290 stations 57% Bon état 43% non atteint	5 stations 80% Bon état 20% non atteint

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU

Eaux pluviales :  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

## Réduction de la pollution pluviale - le programme d'intervention de l'AERM&C

- Au 9<sup>ème</sup> programme : 2007-2012

Des aides

- à la mise en séparatif des réseaux, à la construction de bassins d'orage, ...
- au déplacement de point de rejet ou au traitement des eaux pluviales sur les milieux prioritaires au titre de la pollution domestique.

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU

Eaux pluviales :  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

## Réduction de la pollution pluviale - le programme d'intervention de l'AERM&C

- Préparation du 10<sup>ème</sup> programme 2013-2018 :  
quelles évolutions de nos aides?

- Continuer à intervenir sur des travaux sur les réseaux
- Promouvoir la réduction à la source par un appel à projet sur les techniques alternatives

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU

Eaux pluviales :  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

## Qu'est ce que l'agence attend de la recherche

- Mieux connaître les contaminants des RUTP
- Mais également : leur impact et leur durée, les solutions à mettre en œuvre pour surveiller, pour réduire, ...

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



## **Quels contaminants dans les rejets urbains de temps de pluie ? Éclairage particulier sur les micropolluants**

---

Céline BECOUZE-LAREURE, Christel SEBASTIAN, INSA de Lyon (LGCIE )  
Johnny GASPERI, Université Paris Est (LEESU-OPUR)



# QUELS CONTAMINANTS DANS LES REJETS URBAINS DE TEMPS DE PLUIE ?

## Éclairage particulier sur les micropolluants

Céline BECOUZE-LAREURE, Christel SEBASTIAN, Université Lyon 1, INSA LGCIE & Johnny GASPERI, Université Paris Est-LEESU

### 1-ORIGINES DES POLLUANTS DANS LES RUTP

L'expression « Rejets Urbains par Temps de Pluie » ou « Rejets Urbains de Temps de Pluie » (RUTP), désigne, selon Hémain (1987), toutes les eaux qui, tombant sur un bassin-versant urbanisé, rejoignent le milieu récepteur sans passer par un système d'épuration : eaux de pluie, eaux de ruissellement, rejets à l'exutoire des réseaux séparatifs pluviaux, surverses de réseaux unitaires. Chocat *et al.* (2007) soulignent que les RUTP peuvent être vus comme l'ensemble des eaux rejetées : i) par les installations d'épuration (mélange d'eaux usées et d'eaux pluviales traitées), ii) par les déversoirs d'orage (mélanges d'eaux usées et d'eaux pluviales non traitées), et iii) par les exutoires pluviaux (eaux pluviales généralement non traitées), pendant un événement pluvieux et pendant la période de temps qui lui succède. Le bassin-versant et son taux d'urbanisation, le type de réseau d'assainissement ainsi que les précipitations et leur durée dans le temps constituent autant de facteurs qui déterminent les caractéristiques des RUTP ainsi que leur niveau de pollution.

Les polluants des RUTP proviennent de plusieurs gisements (Figure 1) :

- la pollution atmosphérique,
- les eaux de ruissellement des surfaces urbaines,
- du lessivage des surfaces urbaines et du bâti,
- dans le cas de réseaux unitaires, de la remise en suspension des dépôts, etc.

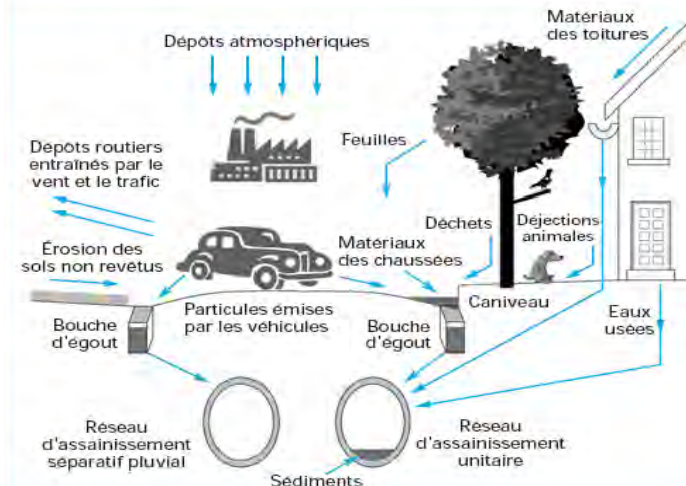


Figure 1 : Origines des différents polluants présents dans les RUTP

Dans les bassins versants urbains, les données sur les sources diffuses de polluants prioritaires sont encore limitées. Les études antérieures sur les eaux pluviales se sont concentrées principalement sur les particules, la pollution carbonée (MES, DCO) (Brombach *et al.* 2005, Braco *et al.* 2008), les métaux lourds, et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (Rocher 2003, Brown et Peake 2006, Kayhanian *et al.* 2007). Les connaissances concernant les émissions, l'occurrence et le devenir des autres polluants organiques prioritaires dans les RUTP demeurent rares (Garnaud 1999, Rule *et al.* 2006, Gasperi *et al.* 2008, Zgheib, 2009, Lamprea 2009, Becouze-Lareure 2010).

Trois observatoires en hydrologie urbaine ont été indépendamment créés sur le territoire français dans le but d'aboutir à une meilleure compréhension des phénomènes de l'hydrologie urbaine et développer des outils dans une démarche pluridisciplinaire et se sont réunis récemment dans le cadre d'HURRBIS. Les grands axes de recherche concernent : (i) la connaissance des flux d'eau et de polluants en milieu urbanisé, (ii) l'impact des rejets d'eaux usées et pluviales sur les milieux naturels et (iii) les interactions entre dispositifs de contrôle des eaux pluviales et le paysage urbain. Nous retrouvons :

- un observatoire à Nantes ONEVU (Observatoire nantais des environnements urbains);
- un observatoire dans la région parisienne OPUR (Observatoire des Polluants URbains en Ile-de-France) ;
- un observatoire dans la région lyonnaise OTHU (Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine).

### 2-ECHANTILLONNAGE ET MÉTHODES ANALYTIQUES

#### 2.1 - Échantillonnage

L'étape d'échantillonnage constitue la première étape dans la détermination de la concentration des micropolluants d'un milieu (Quevauviller, 2004). L'échantillonnage d'un événement pluvieux comprend deux étapes : (i) la délimitation de l'événement pluvieux et (ii) le prélèvement.

Dans le cadre des projets menés au sein de l'observatoire HURRBIS, l'échantillonnage est réalisé à l'exutoire du bassin versant considéré. La mesure en continu du débit permet de réaliser un prélèvement proportionnel au volume.

L'analyse des micropolluants à l'état de traces nécessite l'utilisation de matériel adapté et propre, et demande une grande rigueur de la part de l'opérateur. Aussi, quelques précautions générales peuvent être dictées :

- Utilisation de préleveurs réfrigérés munis d'un tuyau d'aspiration en téflon.

- Utilisation de flacons en verre ambré (adaptés à la conservation des substances organiques) ou plastiques (conservation des métaux) pour les flacons de prélèvement et les flacons destinés à l'analyse.
- Nettoyage rigoureux du matériel de terrain et des flacons de prélèvement lors de chaque campagne.
- Dans le cadre d'analyses réalisées par des laboratoires prestataires, le délai d'acheminement ne doit pas dépasser 24h après la fin de l'évènement pluvieux dans des contenants réfrigérés (utilisations de blocs réfrigérés par exemple).
- La vérification de la chaîne d'échantillonnage est assurée par la réalisation régulière de blancs sur les appareils de prélèvement afin d'estimer les contaminations possibles (relargage ou adsorption sur le matériel).

Dans le cadre du consortium de recherche Aquaref, un guide intitulé « Pratiques d'échantillonnage et de conditionnement en vue de la recherche de micropolluants émergents et prioritaires en assainissement collectif et industriel » sera bientôt disponible.

## 2.2 - Méthodes analytiques

L'étude à l'état de trace des substances dans les RUTP, les retombées atmosphériques, les eaux de ruissellement nécessite d'utiliser des méthodes analytiques adaptées et sensibles pour acquérir des niveaux de concentrations très faibles, de l'ordre du  $\mu\text{g.L}^{-1}$  et  $\text{ng.L}^{-1}$ , dans les fractions dissoute et particulaire. Le Tableau 1 présente les différentes méthodes d'analyse utilisées dans le cadre de 2 projets : ESPRIT et INOGEV (Innovations pour une Gestion durable de l'Eau en Ville, projet ANR Villes durables 2010-2014).

**Tableau 1. Présentation des méthodes analytiques utilisées pour le dosage des substances prioritaires dans les eaux pluviales et exemple de quelques limites de quantification (LQ)**

Famille	Projets	Extraction		Dosage	LQ <sub>dissous</sub>	LQ <sub>particulaire</sub>
		Dissous	Particulaire			
<b>Métaux</b>	ESPRIT <sup>1</sup>	Acidification avec HNO <sub>3</sub>	Minéralisation à l'eau régale au micro-onde	ICP-MS	Cd : 0,01 $\mu\text{g/L}$	Cd : 0,03 $\mu\text{g/g}$ pour 75 mg
	INOGEV <sup>2</sup>	Acidification avec HNO <sub>3</sub>	-	ICP-OES	Cd : 0,5 $\mu\text{g/L}$	Cd : 0,1 $\mu\text{g/g}$ pour 500 mg
<b>Mercur</b>	ESPRIT <sup>1</sup>	Acidification avec HCl	Minéralisation à eau régale dans un bloc chauffant	AFS	0,5 ng/L	0,5 ng/g
<b>HAP</b>	ESPRIT <sup>1</sup>	Sur phase solide (cartouche StrataX)	En phase solide (ASE)	LC-FLD	Anthracène : 1 ng/L	Anthracène : 125 ng/g pour 100 mg
	INOGEV <sup>2</sup>	Sur phase solide (SPE)	Type QuEChERS	GC-Tof	Anthracène : 4,5 ng/L	Anthracène : 36 ng/g pour 50 mg
<b>Pesticides</b>	ESPRIT <sup>1</sup>	Sur phase solide (cartouche StrataX)	En phase solide (ASE)	LC-FLD et GC-MS/MS	Diuron : 6 ng/L	Diuron : 62,5 ng/g pour 100 mg
	INOGEV <sup>2</sup>	Sur phase solide (SPME)*	En phase solide (ASE)	GC/MS/MS	En cours	En cours -
		Extraction Liquide/Liquide**	Ultra-sons	HPLC/Fluo	En cours	En cours -
<b>Alkylphénols</b>	ESPRIT <sup>1</sup>	Sur phase solide (cartouche StrataX)	En phase solide (ASE)	LC-FLD	Octylphénol : 10 ng/L	Octylphénol : 31,2 ng/g pour 100 mg
	INOGEV <sup>2</sup>	Sur phase solide (cartouche Oasis HLB)	Micro-onde	UPLC-MS/MS	Octylphénol : 12 ng/L	Octylphénol : 30 ng/g pour 100 mg
<b>PBDE</b>	INOGEV <sup>2</sup>	Sur phase solide (cartouche C18)	Micro-onde	GC-MS/MS	BDE28 : 0,0625 ng/L	BDE28 : 1,25 ng/g pour 100 mg

<sup>1</sup> : dans le cadre de l'OTHU, <sup>2</sup> : dans le cadre d'HURRBIS (les 3 observatoires français)

\* sauf Glyphosate et AMPA, \*\* Glyphosate et AMPA

### 3- QUALITÉ DES EAUX PLUVIALES ET DES REJETS URBAINS DE TEMPS DE PLUIE

L'idée de cette section est de dresser un rapide état des lieux de la contamination des eaux pluviales, des eaux usées et des surverses de réseaux unitaires. Pour cela, les résultats obtenus dans le cadre du programme OPUR dans la région parisienne sont ici présentés. Ces résultats peuvent être comparés aux résultats obtenus sur les autres observatoires, à savoir : Dembélé et Becouze-Lareure pour le site de Lyon et Lamprea pour le site de Nantes (Dembélé, 2010, Becouze-Lareure 2010, Lamprea, 2009).

La figure 2 présente les résultats acquis pour les eaux pluviales (exutoire de réseau séparatif), les rejets urbains de temps de pluie (RUTP, rejet unitaire) et les eaux usées. Les concentrations médianes et les premiers et derniers déciles (en  $\mu\text{g.l}^{-1}$ ) sont représentés, ainsi que les fréquences de quantification (%). Des informations complémentaires (nombre d'échantillons, sites étudiées, etc.) sur les présents résultats sont disponibles dans Zgheib (2009) et Gasperi *et al.* (2011). Les substances marquées par un astérisque sont classées comme substances dangereuses prioritaires.

De manière générale, un nombre important de polluants est véhiculée par les eaux pluviales ou les RUTP. Parmi les 88 substances recherchées selon la méthodologie proposée par Zgheib (2009), 49 et 45 substances ont été respectivement détectées dans les RUTP et les eaux pluviales. Un grand nombre de ces substances est aussi retrouvé dans les eaux usées. Pour les eaux de ruissellement, aucune différence significative n'a été observée selon le plan d'occupation des sols des bassins considérés. Quelle que soit la matrice considérée, 30 substances n'ont jamais été détectées ou alors détectées très occasionnellement (< 15). La non-quantification de ces molécules s'explique soit par leurs niveaux inférieurs aux limites de quantification (cas de certains métaux traces - Cd\*, Pt\*, du PCB 194 ou de l'octa-BDE) soit par leur diminution progressive, voire de leur retrait comme produits intermédiaires dans l'industrie (cas de plusieurs pesticides comme le lindane ou le DDT, des chlorobenzènes ou du tétrachloroéthylène).

#### Cas des métaux

Quel que soit le type d'eau, les concentrations métalliques varient typiquement de quelques  $\mu\text{g/l}$  à plusieurs centaines de  $\mu\text{g/l}$ . Les RUTP sont caractérisés par des concentrations en Cu, Pb et Zn supérieures à celles des eaux usées et seulement dans le cas du Cu supérieures aux concentrations des eaux de ruissellement. Cette différence est liée, d'une part, aux concentrations métalliques élevées dans les eaux de ruissellement et, d'autre part, à l'érosion des sédiments présents en réseau d'assainissement. Les précédents travaux d'OPUR ont démontré que la majeure partie du Cu dans les RUTP résulte de l'érosion des dépôts, tandis que les eaux de ruissellement sont une source prédominante de Pb\* et Zn. La contribution des eaux de ruissellement est forte car les concentrations en Pb\* et Zn dans les eaux pluviales sont élevées. Dans le cas du ruissellement de chaussées, ces métaux proviennent essentiellement des véhicules et de leur lessivage alors que la contamination métallique est imputée à la corrosion des couvertures métalliques et des éléments constitutifs de ces toitures dans le cas du ruissellement de toitures.

#### Ces des hydrocarbures aromatiques polycycliques

. Globalement, les concentrations mesurées dans les RUTP (0,98 et 2,58  $\mu\text{g.l}^{-1}$ , somme des 16 HAP mesurés) s'avèrent supérieures à celles des eaux usées (0,20 - 1,22  $\mu\text{g.l}^{-1}$ , médiane à 0,47  $\mu\text{g.l}^{-1}$ ) et des eaux de ruissellement (0,77 et 6,14  $\mu\text{g.l}^{-1}$ , médiane à 1,36  $\mu\text{g.l}^{-1}$ ). Comme précédemment mentionné pour le Cu, la remise en suspension des dépôts formés au sein des réseaux explique ces différences. A l'échelle du réseau parisien, la contribution du réseau à la pollution en HAP des RUTP est prédominante (de 40 à 70%) tandis que les contributions des eaux usées et des eaux de ruissellement n'excèdent pas 30% (Gasperi *et al.*, 2011).

#### Cas des polychlorobiphényles (PCB)

Malgré leur interdiction en France depuis 1987, 6 congénères (PCB 28, 101, 118, 138, 153 et 180) ont été fréquemment détectés dans les RUTP et les eaux pluviales. De manière assez surprenante, les concentrations totales en PCB (12 - 26  $\text{ng.l}^{-1}$  pour  $\Sigma$  6 PCB) dans les RUTP parisiens apparaissent nettement inférieures aux concentrations reportées par Zgheib (2009) à l'exutoire de réseau séparatif. Alors que l'auteur mentionne des concentrations totales fluctuant entre 74 et 711  $\text{ng.l}^{-1}$  (premier et dernier déciles) avec une concentration médiane à 272  $\text{ng.l}^{-1}$  ( $\Sigma$  7 PCB), les concentrations dans les RUTP n'excèdent pas 30  $\text{ng.l}^{-1}$ . Ces fortes différences de concentrations pourraient résulter de différence de remobilisation de stocks de PCB entre le site Parisien et les sites péri-urbains.

#### Cas des organo-étains.

Quelle que soit la matrice considérée, les mono- (MBT\*), di- (DBT\*) et tri-butyl étains (TBT\*) ont été quantifiés entre 0,01 et 0,1  $\mu\text{g.l}^{-1}$ . La présence marquée du MBT\* et DBT\* et l'absence de corrélation avec le TBT\* suggère que ces deux composés ne proviennent pas exclusivement de la dégradation du TBT\*, mais qu'ils peuvent être relégués à partir de produits domestiques en PVC. A l'exception d'une campagne pour laquelle des concentrations très nettement supérieures à celles des eaux de ruissellement ou des eaux usées ont été observées, les concentrations en organo-étains s'avèrent comparables entre les RUTP, les eaux usées et les eaux pluviales. Ce résultat s'explique dans la mesure où les organo-étains sont utilisés dans une large gamme d'applications industrielles et domestiques (pesticides utilisés en agriculture, agent antifongique dans des peintures, dans certains produits de consommation, stabilisateurs dans les produits en PVC). Si les concentrations s'avèrent comparables, les distributions diffèrent. Les eaux usées se différencient par une forte proportion de TBT\*, alors que les eaux de ruissellement et les RUTP se distinguent avec des proportions plus importantes de DBT\* et MBT\*. Conformément à leur usage, cette observation suggère que le lessivage des matériaux urbains pourrait relarguer ces deux composés.

#### Cas des composés organiques volatils (COV)

Selon les résultats d'OPUR, il apparaît clairement qu'un nombre plus important de COV a été détecté dans les eaux usées (10 COV) et les RUTP (5 COVs) que dans les eaux pluviales. Cette observation suggère que les eaux usées constituent la source principale



de COV dans les RUTP. Cette hypothèse se confirme dans la mesure où des niveaux importants de COV sont mentionnés dans la littérature et que les composés volatils ne sont pas quantifiés dans les eaux de ruissellement, à l'exception du dichlorométhane ( $1,5 - 13 \mu\text{g.l}^{-1}$ ) et du tétrachloroéthylène ( $0,5 - 1,3 \mu\text{g.l}^{-1}$ , Zgheib *et al.*, 2011). Dans les eaux usées, le dichlorométhane ( $4,8 - 6,4 \mu\text{g.l}^{-1}$ ) et le tétrachloroéthylène ( $1,6 - 6,7 \mu\text{g.l}^{-1}$ ) sont prédominants alors que les autres composés présentent des concentrations entre  $0,1$  et  $2,3 \mu\text{g.l}^{-1}$ .

### Cas des pesticides

Sur les 25 phytosanitaires recherchés, 9 substances correspondant pour la plupart à des herbicides ont été détectées dans les RUTP ou dans les eaux pluviales. Pour les RUTP, l'aldrine, l'atrazine\* et la déséthylatrazine ont été détectés occasionnellement (entre 25 et 50%), tandis que la dieldrine ( $0,20 - 0,98 \mu\text{g.l}^{-1}$ ), le diuron\* ( $0,19 - 0,50 \mu\text{g.l}^{-1}$ ), l'isoproturon\* ( $0,02 - 0,04 \mu\text{g.l}^{-1}$ ), l'aminotriazole ( $0,13 - 0,46 \mu\text{g.l}^{-1}$ ), le glyphosate ( $0,29 - 1,2 \mu\text{g.l}^{-1}$ ) et l'acide amino méthyl phosphonique - AMPA ( $0,25 - 1,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ ) ont été détectés dans tous les échantillons. Ces mêmes composés ont été également dosés dans les eaux usées et les eaux de ruissellement, mais les profils diffèrent cependant selon la matrice considérée. Globalement, les RUTP présentent des concentrations de diuron\*, d'isoproturon\* et de glyphosate de 5 à 20 fois supérieures à celles des eaux usées, mais comparables à celles des eaux de ruissellement. Cette observation suggère que les pesticides retrouvés dans les RUTP proviennent majoritairement des eaux de ruissellement. Pour l'AMPA, les concentrations dans les RUTP se situent dans la fourchette basse des concentrations observées pour les eaux usées, elles même présentant des concentrations en AMPA très largement supérieures à celles des eaux de ruissellement. Ce résultat implique que les eaux usées constituent la source principale d'AMPA dans les RUTP.

### Cas du DEHP\*

Les concentrations en diéthylhexyl phthalate\* (DEHP\*) dans les RUTP ( $3,8 - 14,8 \mu\text{g.l}^{-1}$ ) sont comparables à celles mesurées dans les eaux usées ( $13,1 - 57,3 \mu\text{g.l}^{-1}$ , médiane à  $19,1 \mu\text{g.l}^{-1}$ ) et les eaux de ruissellement ( $3,4 - 55,9 \mu\text{g.l}^{-1}$ , médiane à  $16,4 \mu\text{g.l}^{-1}$ ), témoignant de la forte dissémination du DEHP dans les envoûtements urbains. De nombreuses études ont identifié le DEHP\* comme le phtalate prédominant. A l'image d'autres composés, les phtalates et plus spécifiquement le DEHP\* sont utilisés dans une large gamme d'applications domestiques et industrielles. Ils sont généralement utilisés en tant qu'additifs dans des plastiques et des tuyaux en PVC.

## 4- APPLICATION OPÉRATIONNELLE : SUIVI D'UN BASSIN DE RETENUE-DÉCANTATION DES EAUX PLUVIALES.

### Premiers résultats sur l'efficacité

Dans le cadre des projets INOGEV et BR-TOX (projet ZABR-Agence de l'eau RMC), on se propose d'évaluer l'efficacité d'un bassin de retenue-décantation vis-à-vis de micropolluants (107 substances) et de l'écotoxicité des rejets. L'ouvrage étudié, en place depuis 1975, est à ciel ouvert. Il est situé à l'exutoire d'un bassin versant industriel de 185 ha muni d'un réseau séparatif, dans l'Est lyonnais et son volume est de  $32\ 000 \text{ m}^3$ . L'entrée et la sortie du bassin sont instrumentées par des préleveurs automatiques et des capteurs mesurant en continu, à pas de temps de 2 minutes, la hauteur et la vitesse dans le réseau, la turbidité, la conductivité, le pH, la température et la hauteur d'eau

dans le bassin. D'après les premières campagnes, une diminution des concentrations totales en métaux lourds (Ni, Pb, Cu, Zn, Cd) entre l'entrée et la sortie sont constatées avec une augmentation des concentrations en phase dissoute en sortie. Ces résultats confirmeraient l'adsorption des métaux sur les particules, retenues dans le bassin par décantation (Hares *et al.*, 1999).

L'analyse des polluants organiques menée en entrée et sortie du bassin et sur une campagne, a révélé deux points : (i) les triazines (atrazine, simazine), les organophosphorés (chlorfenvinphos et chlorpyrifos) et les urées substituées (isoproturon et diuron) sont retrouvés en concentrations similaires voire plus importantes en sortie qu'en entrée et (ii) les concentrations totales en HAPs et alkylphénols (NP et OP) sont plus faibles en sortie du bassin. Ces tendances peuvent s'expliquer par la répartition des polluants en phase dissoute et particulaire. En effet, les pesticides évoqués sont majoritairement présents sous forme dissoute alors que les HAPs (surtout les plus lourds : B(a)anthracene, Chrysène, B(b)fluor et B(k)fluor) sont sous forme particulaire.

### Ecotoxicité

Le risque écotoxicologique des rejets a été évalué en entrée et sortie du bassin de retenue. Il s'agit d'étudier le comportement d'organismes tests : ostracodes (*Heterocypris incongruens*) et rotifères (*Brachionus calyciflorus*) dans ces effluents. Par exemple, le test effectué sur les ostracodes a montré, pour les trois campagnes réalisées, une variabilité événementielle entre l'entrée et la sortie du bassin. Une diminution de la mortalité des ostracodes a été observée pour deux campagnes alors que la dernière campagne montre la tendance inverse. Une variabilité spatiale est également observée avec une inhibition de croissance plus marquée en sortie. Des campagnes complémentaires sont nécessaires pour établir des relations entre le niveau de toxicité des eaux en entrée et en sortie du bassin de rétention et estimer son efficacité.

### Le suivi opérationnel

Le bassin de retenue-décantation présente des zones de dépôt important de sédiments. La connaissance de leur composition est nécessaire pour leur traitement futur. Les concentrations en polluants contenus dans les sédiments accumulés ont été mesurées lors d'une campagne. On y retrouve en quantité importante des HAPs, des alkylphénols du bisphénol A et deux pesticides (diuron, chlorpyrifos). Les sédiments accumulés peuvent être remis en suspension lors des événements pluvieux, ce qui réduit considérablement l'efficacité du bassin vis-à-vis des polluants adsorbés sur les particules. La fréquence de curage du bassin est donc un enjeu déterminant pour son bon fonctionnement.

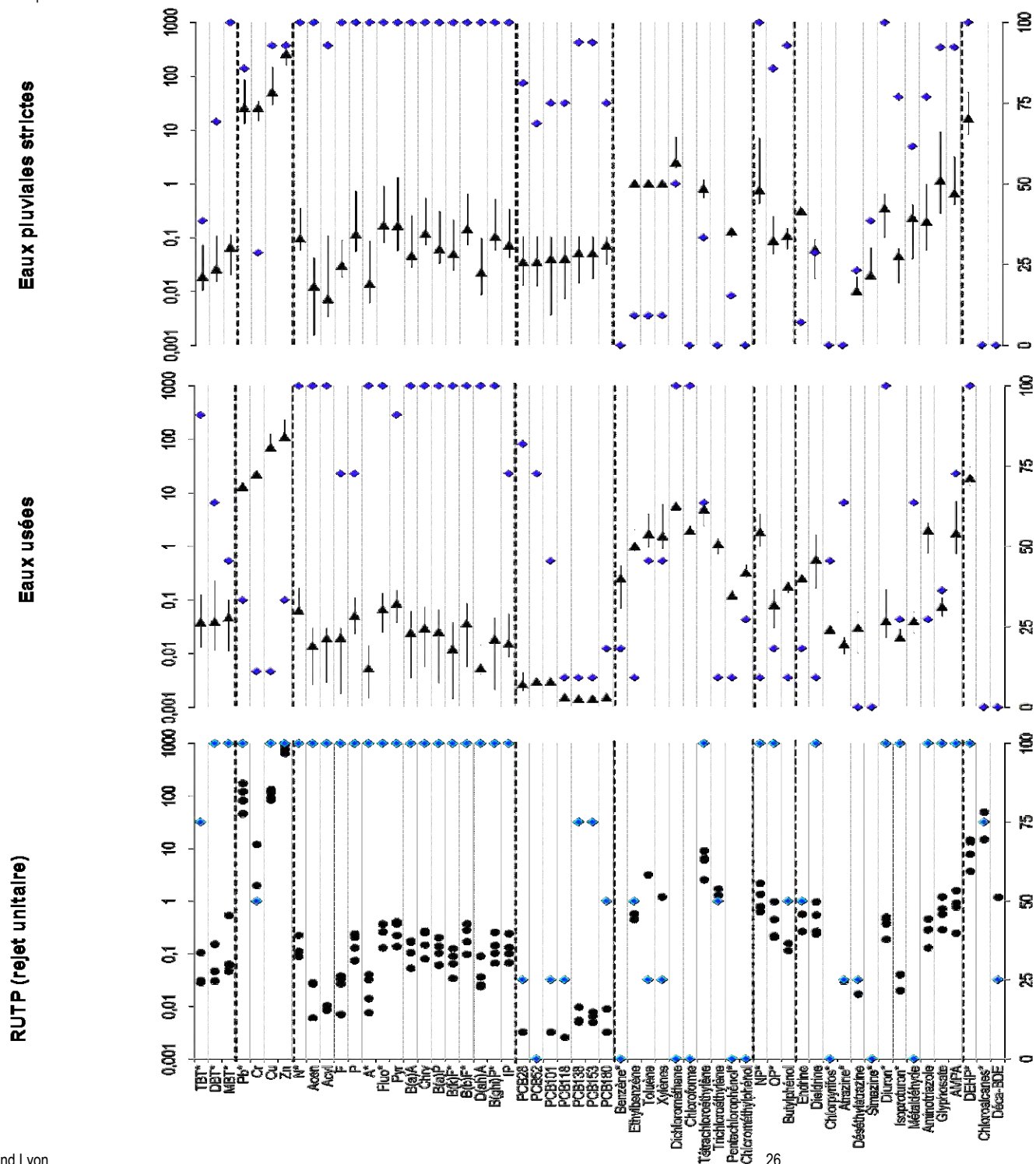


Figure 2 : Concentrations totales ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ ) pour les eaux pluviales en réseau séparatif (n=17), les eaux usées (n=11) et les RUTP (n=4), et fréquence de quantification (%).

Pour les eaux usées et les eaux de ruissellement, les premiers et derniers déciles sont représentés, ainsi que la valeur médiane. Pour les RUTP, les résultats obtenus pour 4 événements sur le site de Clichy sont représentées.



## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Becouze-Lareure C. (2010). Caractérisation et estimation des flux de substances prioritaires dans les rejets urbains par temps de pluie sur deux bassins versant. Thèse de doctorat, INSA Lyon, France, 308p. Disponible à : <http://www.esprit-rhodanos.fr/publications/index.html>
- Braco J., Papiri S. and Stenstrom M.K. (2008) First flush in a combined sewer system. *Chemosphere*, 71: 827-833.
- Brombach H., Weiss G. and Fuchs S. (2005) A new database on urban runoff pollution: comparison of separate and combined sewer systems. *Water Science and Technology*, 51(2): 119-128.
- Brown J.N. and Peake B.M. (2006) Sources of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban stormwater runoff. *Science of the Total Environment*, 359: 145-155.
- Chocat B. (1997) *Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement*. Paris (France): Technique et Documentation, 1136p. Eurydice 92.
- Dembélé A. (2010) MES, DCO et polluants prioritaires des rejets urbains de temps de pluie : mesure et modélisation des flux événementiels. Thèse de doctorat, INSA Lyon, 252p. Disponible à : <http://www.esprit-rhodanos.fr/publications/index.html>
- Garnaud S., Mouchel J.-M., Chebbo G. and Thévenot D.R. (1999) Heavy metals in dry and wet atmospheric deposits in Paris district: comparison with urban runoff. *Science of the Total Environment*, 235 (1-3):235-245.
- Gasperi J., Garnaud S., Rocher V. and Moilleron R. (2008) Priority pollutants in wastewater and combined sewer overflow. *Science of the Total Environment*, 407(1): 263-272.
- Hares R, Ward N (1999). Comparison of the heavy metal content of motorway stormwater following discharge into wet biofiltration and dry detention ponds along the London Orbital (M25) motorway. *Science of the Total Environment*. 1999; 235(1-3):169-78.
- Kayhanian M., Suverkropp C., Ruby A. and Tsay K. (2007) Characterization and prediction of highway runoff constituent event mean concentration. *Journal of Environmental Management*, 85: 279-295.
- Lamprea Maldonado K. (2009) Caractérisation et origine des métaux traces, hydrocarbures aromatiques polycycliques et pesticides transportés par les retombées atmosphériques et les eaux de ruissellement dans les bassins versants séparatifs péri-urbain. Ecole Centrale de Nantes, France. Thèse de doctorat: 244p. Disponible à : [http://www.graie.org/hurrbis/documents\\_telechargeables/these\\_lamprea\\_2010.pdf](http://www.graie.org/hurrbis/documents_telechargeables/these_lamprea_2010.pdf)
- Rocher V. (2003). Introduction et stockage des hydrocarbures et des éléments métalliques dans le réseau d'assainissement unitaire parisien. Thèse de doctorat. Université Paris XII Val de Marne. 231 p.
- Quevauviller P. (2004). Traceability of environmental chemical measurements. *Trends in Analytical Chemistry*, 23(3):171-177.
- Zgheib S. (2009) Flux et sources de polluants prioritaires dans les eaux urbaines en lien avec l'usage du territoire. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, France. Thèse de doctorat, 349p.

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

## QUELS CONTAMINANTS DANS LES REJETS URBAINS DE TEMPS DE PLUIE ?

Éclairage particulier sur les micropolluants

**BECOUBE-LAREURE Céline (INSA-LGCIE)**  
**SEBASTIAN Christel (INSA-LGCIE)**  
**GASPERI Johnny (LEESU)**

GRAND LYON **graie**

Espace Tête d'Or – LYON/VILLEURBANNE – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

## Origines des polluants

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

Polluants volatils transportés  
sur de longues distances

Retombées atmosphériques  
humides (RH) et sèches (RS)

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

Temps de pluie  
Ruissellement sur surfaces  
imperméables

Temps de pluie  
Ruissellement sur  
surfaces perméables

Polluants issus des eaux  
usées industrielles et  
domestiques

Réseau unitaire  
(RU)

Réseau séparatif  
(RS)

Polluants issus de  
mauvais branchements

STEP DO

Bassin de  
rétention/infiltration

Milieu récepteur

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

## Origines des polluants

- Retombées atmosphériques sèches et humides
- Lessivage des surfaces urbaines
- Dépôt dans le réseau
- Rejets issus de mauvais branchements

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



## Connaissance sur les polluants

### – Depuis 1970

- ▶ Nutriments : azote, phosphore, ...
- ▶ Métaux : Cu, Pb, Zn
- ▶ MES
- ▶ HAP

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages



## Etude des polluants en milieu urbanisé

### – 3 observatoires en hydrologie urbaine

- ▶ OPUR : en région parisienne
- ▶ ONEVU : Nantes
- ▶ OTHU : Lyon

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages



## Substances

### – Substances prioritaires

- ▶ Directive 76/464/CEE (Listes I et II)
- ▶ Directive Cadre européenne sur l'Eau 2000/60/CE
- ▶ Directive 2008/105/CE

- ▶ Liste de 33 + 8 substances prioritaires dont 13 prioritaires dangereuses

▶ **Projet ESPRIT** - Évaluation des Substances Prioritaires dans les Rejets Inhérents au Temps de pluie - *ESPRIT est une des actions de recherche du projet RHODANOS au sein du pôle de compétitivité AXELERA "Chimie Environnement".*  
<http://www.esprit-rhodanos.fr/topic/index.html> | projet de recherche en appui sur les données de l'OTHU

▶ **Observatoire OPUR** - Observatoire des Polluants Urbains en Ile-de-France – Paris - <http://leesu.univ-paris-est.fr/opur/>

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages



## – Substances prioritaires de la DCE

Cadmium et composés  
Hexachlorobenzène  
Hexachlorobutadiène  
Hexachlorocyclohexane  
(y c. Lindane)  
Mercuré et composés  
Pentachlorophénol  
Trichlorobenzène  
Trichlorométhane  
1,2 Dichloroéthane

Anthracène  
Naphtalène  
5 autres HAP  
Atrazine  
Endosulfan  
Simazine  
Trifluraline  
Plomb et ses composés  
Nickel et ses composés  
Dichlorométhane  
Benzène

Alachlore  
Diphényléthers bromés  
C10-13-chloroalcanes  
Chlorfenvinphos  
Chlorpyrifos  
Di(2-éthylhexyl)phthalate (DEHP)  
Diuron  
Fluoranthène  
Isoproturon  
Nonylphénols  
Octylphénols  
Pentachlorobenzène  
Composés du tributylétain

**33 Substances Prioritaires DCE  
dont 13 Dangereuses Prioritaires**

**+ 8 substances  
+ substances dites  
« pertinentes »**

Aldrine  
Tétrachlorure de carbone  
DDT  
Dieldrine

Endrine  
Tétrachloroéthylène  
Trichloroéthylène  
Isodrine

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Substances**

– Micropolluants et substances émergentes

▶ **Projet INOGEV** -Innovations pour la gestion durable de l'eau en Ville - connaissance et maîtrise de la contamination des eaux pluviales urbaines. Appel à projet ANR 2009 « Villes durables » : suivi de 78 substances ( projet de recherche en appui sur les données de l'OTHU) - [http://www.irstv.fr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=35%3Ainogev&catid=7%3Aen-cours&Itemid=63&lang=fr](http://www.irstv.fr/index.php?option=com_content&view=article&id=35%3Ainogev&catid=7%3Aen-cours&Itemid=63&lang=fr)

▶ Critères de choix

- ▶ DCE 2000/60/CE et DIR 2008/05/CE
- ▶ Observations locales et études antérieures
- ▶ Risques sanitaires

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012




5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Echantillonnage et méthodes analytiques**

– Prélèvement

- ▶ Préleveurs réfrigérés
- ▶ Flaconnage
  - ▶ Verre ambré: micropolluants organiques
  - ▶ Plastique: métaux
- ▶ Procédure de nettoyage
- ▶ Délai d'acheminement le plus court possible
- ▶ Blancs de prélèvement (adsorption, relargage)

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Projet INOGEV**

**PESTICIDES**

Chlorfenviphos Endosulfan A  
deltamethrine Diuron  
Isoproturon Folpel  
Epoxiconazole Aldrine  
Metaldehyde Tebuconazole Gly  
AMPA Dieldrine isodrine Gly  
ammonium Carbendazim  
isothiazolinone Irgarol 1051  
mecoprop 2\_4\_D 2\_4\_MCPA  
terbutryne acetochlore trichlopyr  
metazachlor fenpropidine  
diflufenicanil chlorothalonil  
pendimethalin s-metolachlore

**AP**

Bisphenol A  
OP NP1EC  
OP1EO  
OP2EO NP  
NP1EO  
NP2EO

**HAP**

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

**PBDE**

BDE28(tri)  
BDE47(tetra)  
BDE99(penta)  
BDE100(penta)  
BDE153(hexa)  
BDE154(hexa)  
BDE183(hepta)  
BDE205(octa)  
BDE209(deca)

**METAUX**

As Cd Fe Pb Cr  
Zn Mn K Cu Pt  
Mg Ca Ni Na Al

Dir 2008/05/CE

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Echantillonnage et méthodes analytiques**

– Méthodes analytiques

- ▶ Phases dissoute et particulaire

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

## Echantillonnage et méthodes analytiques

### – Méthodes analytiques

#### ▶ Phase dissoute

Famille	Dosage	LQ <sub>Dissoute</sub>
Métaux	ICP-MS ICP-OES	<b>Pb</b> 0,05 – 2 µg.L <sup>-1</sup>
HAP	LC-FLD GC-Tof	<b>Fluoranthène</b> 0,9 – 2 ng.L <sup>-1</sup>
Pesticides	LC-MS/MS GC-Tof	<b>Diuron</b> 3 – 6 ng.L <sup>-1</sup>
Alkylphénols	LC-FLD UPLC-MS/MS	<b>Octylphénol</b> 10 – 12 ng.L <sup>-1</sup>
PBDE	GC-MS/MS	<b>BDE28</b> 0,0625 ng.L <sup>-1</sup>

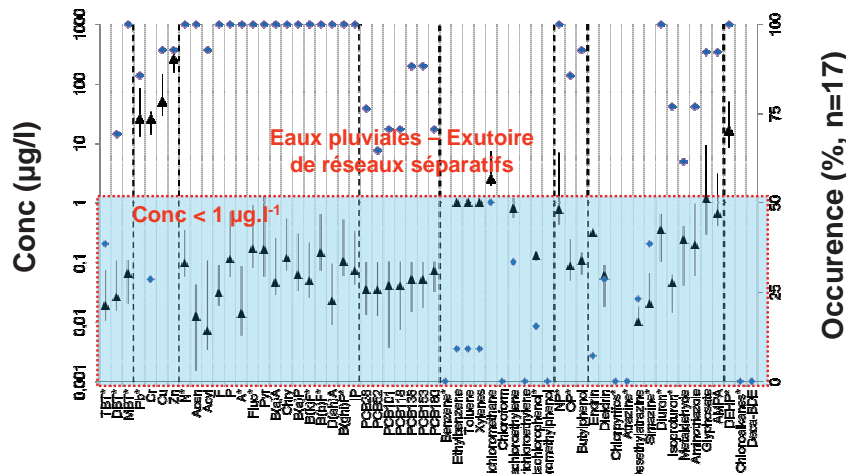
## Echantillonnage et méthodes analytiques

### – Méthodes analytiques

#### ▶ Phase particulaire

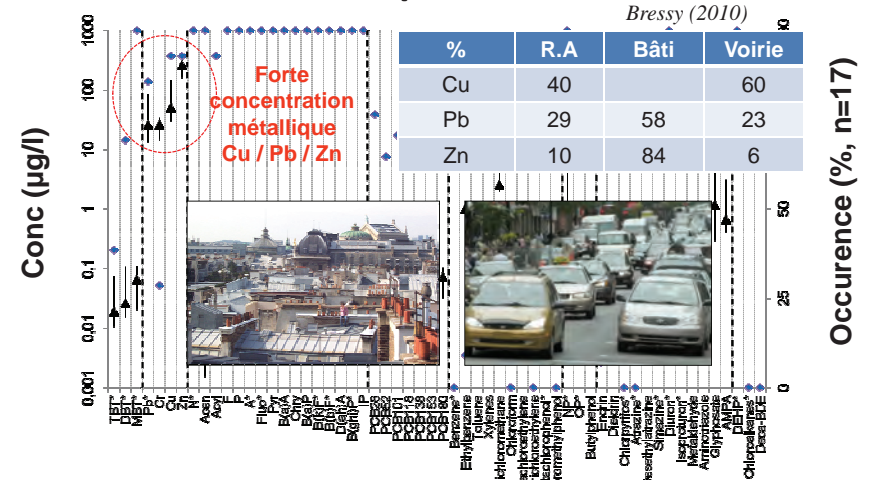
Famille	Dosage	LQ <sub>particulaire</sub>	Masse
Métaux	ICP-MS ICP-OES	<b>Pb</b> 0,1 – 1 µg.g <sup>-1</sup>	75 - 500 mg
HAP	LC-FLD GC-tof	<b>Fluoranthène</b> 0,007 – 0,06 µg.g <sup>-1</sup>	50 – 100 mg
Pesticides	LC-FLD GC-MS/MS	<b>Diuron</b> 125 – 311 ng.g <sup>-1</sup>	43,5 – 100 mg
Alkylphénols	LC-FLD UPLC-MS/MS	<b>Octylphénol</b> 30 – 31,2 ng.g <sup>-1</sup>	100 mg
PBDE	GC-MS/MS	<b>BDE28</b> 1,25 ng.g <sup>-1</sup>	100 mg

## Qualité des eaux pluviales – ex d'OPUR

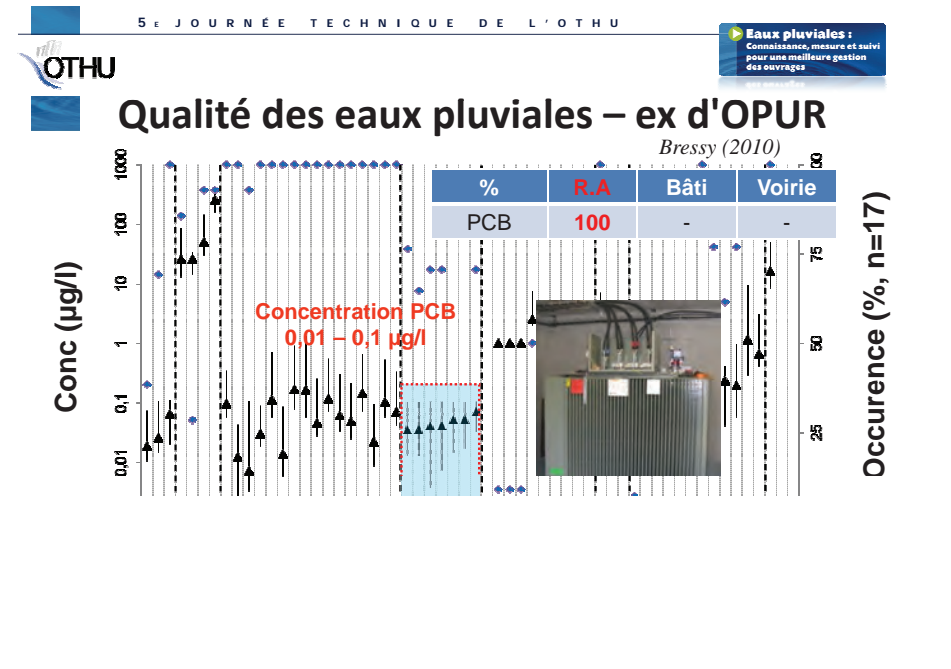
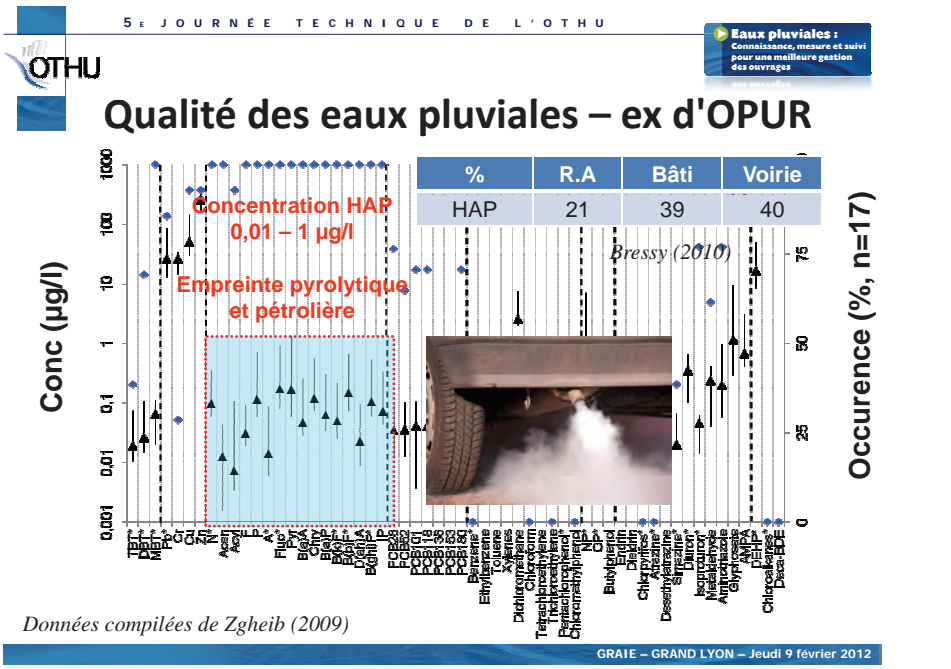


Données compilées de Zgheib (2009)

## Qualité des eaux pluviales – ex d'OPUR



Données compilées de Zgheib (2009)





## **Quels contaminants dans les rejets urbains de temps de pluie ? Éclairage particulier sur les pathogènes**

---

Céline COLINON et Benoit COURNOYER,  
Université Lyon 1 / VetAgroSup / CNRS





5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

## Partie I

### Pollution et contamination des eaux pluviales – Nouvelles avancées

### Eclairage sur les pathogènes

*Céline COLINON  
Benoit COURNOYER  
Université Lyon 1/VetAgro Sup/CNRS*

---

GRANDLYON Espace Tête d'Or – LYON/VILLEURBANNE – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

## Risques sanitaires liés aux agents infectieux des RUTP

– 10 à 35% des individus sont émetteurs d'agents pathogènes

---

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

## Principaux dangers – infections d'origine hydrique

– quels agents infectieux?

- ▶ virus (~ 7%)
  - une dizaine d'espèces

Pathologies:

gastro-entérite  
– astrovirus, calicivirus/  
**norovirus, entérovirus,**  
Rotavirus, **adenovirus (rhinite)**

Hépatite A et E  
– Inflammation  
du foie

---

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

## Principaux dangers – infections d'origine hydrique

– quels agents infectieux?

- ▶ protozoaires (~ 40%)
  - une dizaine d'espèces

Pathologies:

gastro-entérite  
– ***Cryptosporidium,***  
***Giardia duodenalis,***  
***Entamoeba histolytica***

méningo-encéphalite  
amibienne (rare)  
– ***Naegleria fowleri***

---

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**


**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages.

**Principaux dangers – infections d'origine hydrique**

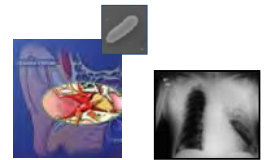
– quels agents infectieux?

- ▶ bactéries (~ 40% mais 70% des hospitalisations)
  - une quinzaine d'espèces


**Pathologies:**



gastro-entérite  
– *Shigella*, *Salmonella*  
*Aeromonas hydrophila*,  
*E. coli* 0157:H7



otite, pneumopathies  
– *P. aeruginosa*,  
– *B. cepacia*, *S. maltophilia*  
– *S. aureus*



infections cutanées  
– *P. aeruginosa*  
– *Aeromonas sp.*

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**


**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages.

**Principaux dangers – infections d'origine hydrique**


– quels agents infectieux?

- ▶ bactéries

**Pathologies rares:**



Légionellose  
– *Legionella pneumophila*



Leptospirose  
– *Leptospira interrogans*  
(insuffisance rénale aiguë, atteinte neurologique et hémorragies)

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages.

**Principaux dangers – infections d'origine hydrique**


– voies d'exposition

- ▶ contact / blessure / ingestion / inhalation

– populations à risques

- ▶ résidents à proximité des cours d'eau
- ▶ agriculteurs, opérateurs de terrain
- ▶ utilisateurs des cours d'eau à des fins récréatives
- ▶ enfants
- ▶ individus fragiles: CF, immuno-déprimés, etc

risque  
moindre



risque  
important

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages.

**Bilan Rhône-Alpes:**

– quelques bilans, pour les sites de baignades:

- ▶ *E. coli* et entérocoques intestinaux (bio-indicateurs GE)
  - peu ou pas de données sur les agents pathogènes
  - peu d'enquêtes épidémiologiques (CNR légionelloses - leptospiroses)

– compartiment microbien négligé dans les études sur les eaux pluviales

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

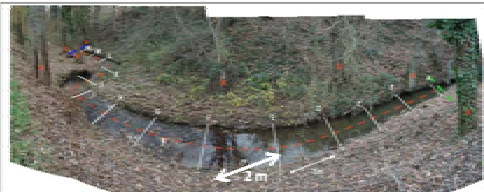
**OTHU**

## Projet INVASION


– modèles d'étude

- stations expérimentales de l'OTHU


**Station aval**




**Station amont**



**ES: eau de surface**




**SB: sédiment benthique**



+10cm  
0  
-30cm

**SH: sédiment hyporhéique**



Eaux pluviales : Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages.

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

## Projet INVASION

– modèles d'étude

- agents bactériens pathogènes
- bio-indicateurs de contamination fécale
  - E. coli* (EC), entérocoques intestinaux (EI), Bacteroidales

Eaux pluviales : Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages.

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

## Projet INVASION - zone du DO


– analyses exploratoires (2009, 2010)

– analyses de suivi mensuel sur 1 an (2011)

- sites aval, DO, amont : sédiments benthiques et hyporhéiques, eaux de surface, benthiques et/ou hyporhéiques

– Approche ciblée

méthodes: ~ microbiologie / biologie moléculaire



- isolement et dénombrement = milieux gélosés
- identification = tests phénotypiques ou ADN
- typage = PFGE (ADN)

Eaux pluviales : Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages.

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

## Projet INVASION - zone du DO

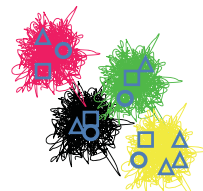
– analyses exploratoires (2009, 2010)

– analyses de suivi mensuel sur 1 an (2011)

– Approche globale


méthodes: ~ biologie moléculaire

- diversité globale (populations/communautés): analyse métagénomique (ADNr 16S ~ unité taxonomique = OTU)



ADN = information génétique (nombreux caractères)

caractère cible amplifié (ADNr 16S = bactérien)



séquences spécifiques (signatures)

lecture/attribution (affiliation ~ OTU)

- identification des bactéries (genre)
- diversité
- abondance relative

Eaux pluviales : Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages.

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

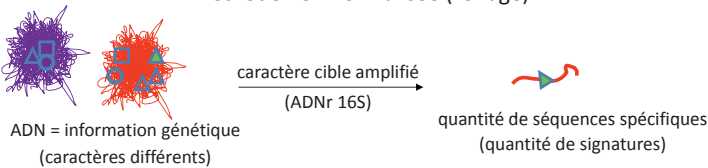
5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Projet INVASION – de la source à l'Yzeron**

– analyses ponctuelles (2011)

- sites aval, DO, amont : sédiments benthiques et hyporhéiques, eaux de surface
- Approche ciblée
- méthodes: ~ biologie moléculaire
- Microbial Source Tracking (MST) → **Fecal Source Tracking (FST)**:
  - traçage d'indicateurs de contamination fécale (*Bacteroidales*) spécifiques d'hôtes (homme et animaux) ou non (général)
  - méthode non normalisée (zonage)



ADN = information génétique (caractères différents)

caractère cible amplifié (ADNr 16S)

quantité de séquences spécifiques (quantité de signatures)

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012


5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Conclusions INVASION / projet OTHU**

- DO = une source d'agents pathogènes
  - transfert d'agent pathogène depuis les eaux usées vers la rivière
- hors période de déversement – section aval
  - persistance des contaminations fécales
  - persistance d'agents pathogènes
  - répartition spatio-temporelle selon les faciès = probable
- autres sources de contamination

➤ **considérer le compartiment microbien dans les recherches sur les eaux pluviales est important**



GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Perspectives INVASION / projet OTHU**

– Poursuite des suivis *in situ* et des études OTHU

- pour mesurer et relativiser les risques encourus par l'homme et le milieu
- RAPPEL* : le risque d'infection est le plus élevé pour les individus fragiles (CF, immuno-déprimés, etc)
- projet Anses sur l'eau
- pour aboutir à la proposition d'indicateurs par rapport aux risques infectieux

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Perspectives INVASION / projet OTHU**

**ANR CABRRES (2012-2016)**



« Caractérisation chimique, microbiologique, écotoxicologique et spatio-temporelle des contaminants des Bassins de Retenue des eaux pluviales urbaines: évaluation et gestion des Risques Environnementaux et Sanitaires associés »

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**REMERCIEMENTS**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages.

**Ecologie Microbienne**  
Lyon

**CNRS**  
Stéphanie PETIT  
Manuelle NETO  
Laurence VILLARD  
Evelyne BORGES  
Françoise MAURIN  
Laurence LOISEAU  
Claire MONNEZ  
Simon GIBERT  
Véronica RODRIGUEZ-NAVA  
Didier Blaha  
Bruno Tilly

**BEM**  
UNIVERSITÉ  
LUMIÈRE... 2  
Bertrand MOULIN  
Guillaume FANTINO  
Laurent SCHMITT

**Cemagref**  
Solutions pour le Territoire  
Pascal BREIL (HH)  
Philippe NAMOUR

**ENTPE**  
UMR CNRS 5023  
Yves PERRODIN  
Céline Becouze-Lareure

**OTHU GRANDLYON**  
Gislain Lipeme Kouyi  
Yvan Béranger  
Sylvie BARRAUD  
Laëtitia BACOT

**Autres financeurs**

**ANR**

**Cluster Environnement**  
**Rhône-Alpes**

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE**

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Synthèse**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages.

- Les pathogènes et plus généralement le compartiment microbien
  - sont un **compartiment habituellement négligé** au sein des recherches menées sur les eaux pluviales.
- Grace au étude exploratoires menées sur l'OTHU,
  - leur présence et/ou leur persistance sont démontrées.
- Poursuivre ces suivis *in situ* et ces études est intéressant
  - pour **mesurer et relativiser les risques encourus par l'homme et le milieu.**  
*RAPPEL : le risque d'infection est le plus élevé pour les individus fragiles.*
  - et notamment **aboutir à la proposition d'indicateurs par rapport aux risques infectieux**

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



## **Suivi et mesure des RUTP : un enjeu pour les collectivités**

---

Régis VISIEDO, Grand Lyon





## Suivi et mesure des RUTP au Grand Lyon

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

- ▶ Pratiques actuelles pour la surveillance des rejets par Bassin Versant
- ▶ Retour d'expérience sur l'instrumentation des ouvrages
- ▶ Processus modélisation / métrologie
- ▶ Quelles perspectives / évolutions attendues

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

## Suivi et mesure des RUTP au Grand Lyon

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

- Suivre et mesurer les rejets des Systèmes d'assainissement par bassin versant
- Système de collecte et transport
  - Réseau unitaire : Mesure en continu au niveau des déversoirs d'orage
  - Réseau pluvial : Prélèvements au niveau des bassins de rétention/Infiltration
- Autosurveillance réglementaire par bassin versant pour le GL
  - Obligation de mesurer le débit des déversoirs d'orage > 600kg/j de DBO5 ou représentant 70 % des rejets du système de collecte

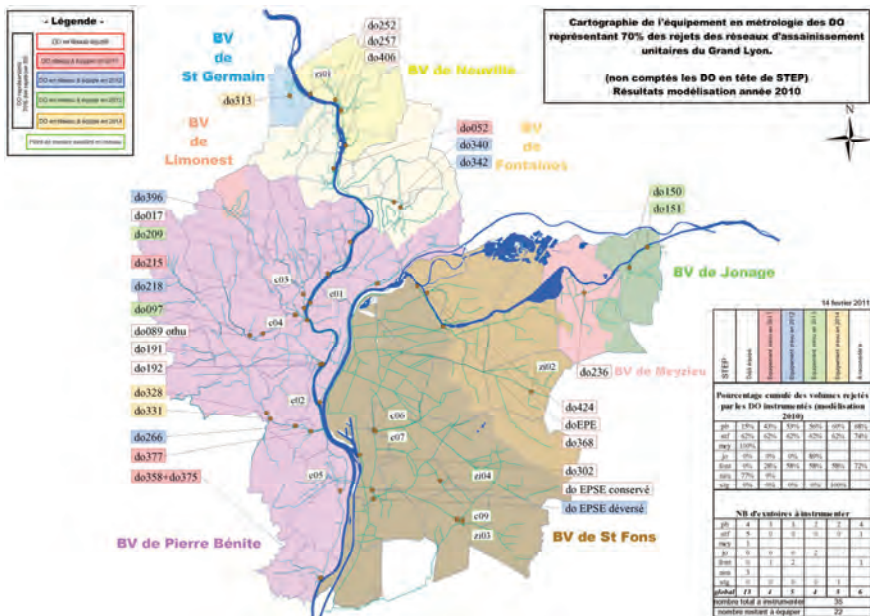
GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

## Suivi et mesure des RUTP au Grand Lyon

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

- ▶ 10 années de métrologie pour la Direction de l'Eau
- ▶ Système conforme / Contrôle annuel Agence de l'Eau
- ▶ Processus modélisation / métrologie en régie
- ▶ Un réseau interne et externe d'acteurs pour l'autosurveillance
- ▶ Un partenariat indispensable avec l'OTHU, le GRAIE et les laboratoires de recherche
- ▶ Un programme d'équipement de 22 DO supplémentaires pour 2010-2014
- ▶ 35 DO équipés fin 2014

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

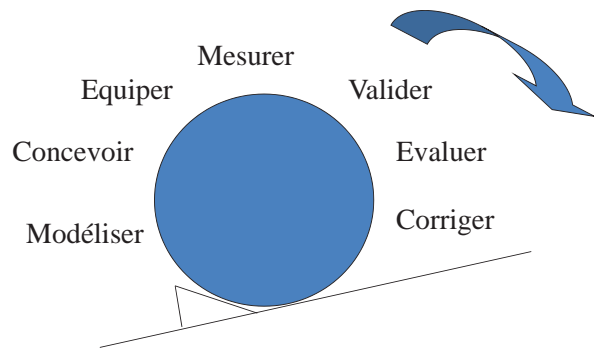


GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

## Suivi et mesure des RUTP au Grand Lyon

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

- Processus modélisation / métrologie



GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

## Suivi et mesure des RUTP au Grand Lyon

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

- Retour d'expérience sur l'instrumentation de 10 déversoirs d'orage
  - Forces / Faiblesses :
    - Modélisation, choix des sites à équiper, instrumentation lourde, collaboration avec les scientifiques et accompagnement
  - Opportunités / menaces :
    - complexité, enjeux et évolutions réglementaires, simplification, fiabilisation, précision de la mesure
- Suivi et gestion des BRI
  - Forces / Faiblesses :
    - Connaissance des temps de transfert vers la nappe, Qualité des prélèvements, implantation des piézomètres,
  - Opportunité / Menaces
    - Choix et pertinence des paramètres physico-chimiques de suivi, coûts d'exploitation et d'analyse, accompagnement par les scientifiques

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

## Suivi et mesure des RUTP au Grand Lyon

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

### ► Perspectives / évolutions pour le GL

- Plus d'efficacité (gain de temps, de moyens, coût global)
- Déversoirs d'orage
  - Mieux déverser / prendre en compte le milieu naturel
  - Suivre et mesurer / quantitatif et qualitatif
  - Optimiser la métrologie en réseau d'assainissement
    - Précision de la mesure
    - Choix stratégiques
    - Piloter / réguler les flux en réseau
  - Simplifier / fiabiliser le processus de satisfaction de la donnée réglementaire

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

## Suivi et mesure des RUTP au Grand Lyon

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

- Bassins de Rétention Infiltration
  - Impacts sur la nappe
  - Suivre et mesurer en continu certains ouvrages
  - Optimiser les conditions de prélèvements
  - Simplifier le suivi qualitatif de la nappe par les piézomètres.
  - Compléter le suivi physico-chimique des eaux de nappe par une approche biologique (biocapteurs, organismes sentinelles)
  - Rôle de la végétation dans la dépollution des sols d'infiltration

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



## **La mesure en continu des débits et des flux polluants en hydrologie urbaine: intérêt, traitement et valorisation**

---

Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI,  
INSA de Lyon (LGCIE)



# La mesure en continu des débits et des flux polluants en hydrologie urbaine : intérêt, traitement et valorisation

Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI, INSA LGCIE

Le mesurage en continu et conjoint des débits et des flux polluants en hydrologie urbaine a été développé dans le domaine de la recherche depuis le milieu des années 1990. Les dispositifs métrologiques de l'OTHU ont été mis en place au début des années 2000. Nous disposons donc à présent d'une expérience suffisante pour permettre un transfert des connaissances, des pratiques et des outils vers le milieu opérationnel.

Cette présentation apportera des éléments de réponse concrets et pratiques aux trois questions suivantes :

- quel est l'intérêt des mesurages en continu ?
- comment traiter les quantités de données importantes produites par les dispositifs métrologiques en continu mis en place ?
- comment utiliser et valoriser les données produites ?

## INTÉRÊT DES MESURAGES EN CONTINU

Les rejets urbains par temps de pluie (RUTP) sont caractérisés par leur très grande variabilité d'un événement pluvieux à l'autre en termes de période de retour, durée, débit, volume, concentration et masse de polluants. Au cours d'un événement pluvieux donné, débit et concentration varient également de manière très importante. Evaluer les volumes et flux polluants et le fonctionnement ou l'efficacité des ouvrages aux échelles événementielle et annuelle par exemple nécessite des mesurages représentatifs de la variabilité et de la dynamique des événements à ces deux échelles.

La métrologie classique fondée sur des prélèvements obtenus au moyen d'échantillonneurs automatiques n'est pas en mesure de fournir des informations suffisamment représentatives. A l'échelle événementielle, le nombre de sous-échantillons ou de prélèvements élémentaires est souvent insuffisant pour obtenir de manière simple (c'est-à-dire sans un asservissement aux volumes écoulés) une bonne représentativité des échantillons et connaître la dynamique des concentrations et des flux polluants. A l'échelle annuelle, le nombre d'événements pluvieux mesurés est généralement très limité en raison des coûts et de la lourdeur des campagnes de mesure.

Le mesurage en continu des flux polluants est une solution opérationnelle pour répondre aux problèmes des campagnes classiques par prélèvements et contribue à la mise en œuvre à terme d'un diagnostic permanent. Il est notamment possible de mesurer en continu la turbidité en réseau d'assainissement et d'en dériver une estimation fiable des concentrations en MES et DCO totale.

D'autres polluants (DCO dissoute, H<sub>2</sub>S, nitrates, etc.) peuvent également être suivis en continu mais ne font pas l'objet de cette présentation. Tous les éléments techniques permettant de mettre en œuvre des turbidimètres en réseau d'assainissement ont été diffusés depuis quelques années déjà par divers moyens (conférences, articles des revues La Houille Blanche et TSM, vidéo, site internet [www.turbidite-assainissement-cil.fr](http://www.turbidite-assainissement-cil.fr)) par les acteurs de l'OTHU et des autres observatoires OPUR et ONEVU. Un guide technique est en cours de préparation au niveau national.

## TRAITEMENT DES DONNÉES

La métrologie en continu des RUTP, généralement mise en œuvre avec des pas de temps courts de l'ordre de 1 à 5 minutes, génère des quantités de données très importantes qu'il est indispensable de corriger, valider et traiter de manière spécifique et automatisée. En effet, les approches manuelles sont inadaptées pour traiter de telles masses de données. Dès les débuts de l'OTHU, des procédures et des outils spécifiques ont été développés pour répondre à ces besoins, en abordant l'ensemble de la chaîne : acquisition des données par des capteurs régulièrement étalonnés et vérifiés, correction des données brutes et estimation de leurs incertitudes, pré-validation automatique et validation finale assistée, puis traitement spécifique des données après éventuelles substitution des données non valides et comblement des lacunes dues aux données manquantes. Cette approche méthodologique est illustrée Figure 1.

Elle est appliquée dans le logiciel EVOHE, produit par l'INSA Lyon et Alison dans le cadre de l'OTHU, avec un soutien de LST (Lyon Science Transfert). La version 1.0 de ce logiciel (voir Figure 2) est disponible depuis février 2012. Elle offre un ensemble de fonctionnalités de haut niveau de manière transparente et facile d'accès pour l'utilisateur, qui peut utiliser EVOHE en complément des autres outils de supervision dont il dispose déjà.

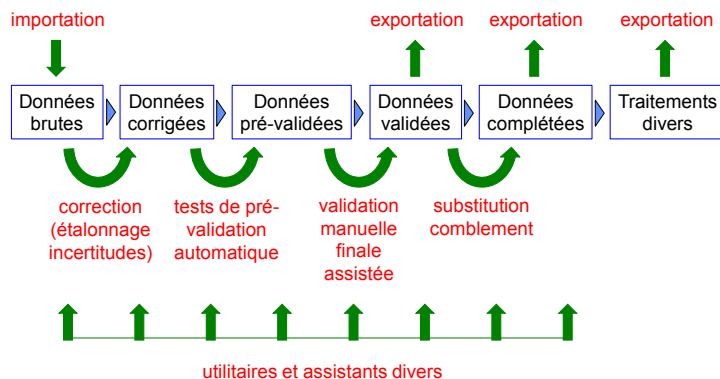


Figure 1 : démarche méthodologique générale de validation et traitement des données

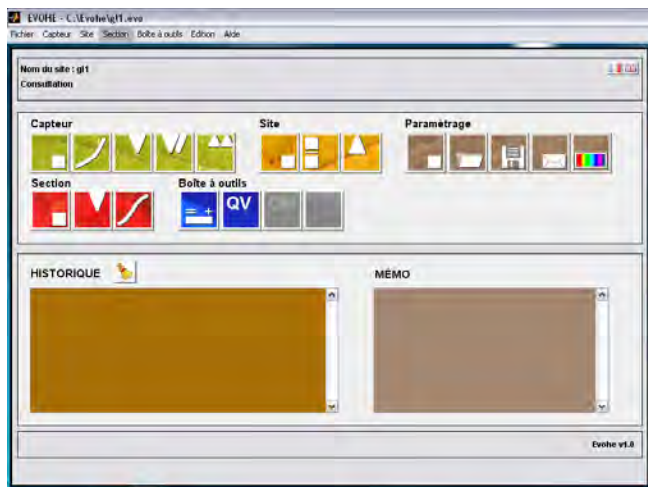


Figure 2 : interface générale du logiciel EVOHE (version 1, février 2012)

### VALORISATION DES DONNÉES

Mettre en place un dispositif métrologique pour acquérir et valider des données ne constitue pas une fin en soi, pas plus que la seule réponse aux obligations réglementaires. Une analyse et un traitement spécifiques des données permet de les valoriser des diverses manières, en réponse à une grande diversité de besoins et d'applications opérationnelles : autosurveillance réglementaire, diagnostic permanent, connaissance et bilan de fonctionnement du système d'assainissement, études, modélisation, planification, etc. Des exemples variés seront décrits au cours de la présentation. Deux d'entre eux sont indiqués ci-dessous dans les Figures 3 et 4.

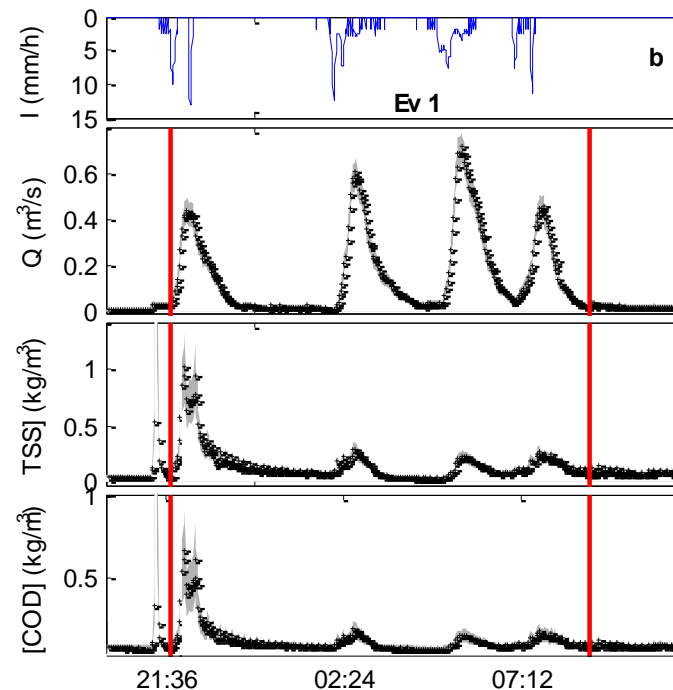


Figure 3 : dynamique du débit ( $m^3/s$ ) et des concentrations en MES et DCO ( $kg/m^3$ ) pendant un événement pluvieux à Chassieu, avec les intervalles de confiance à 95 % en gris

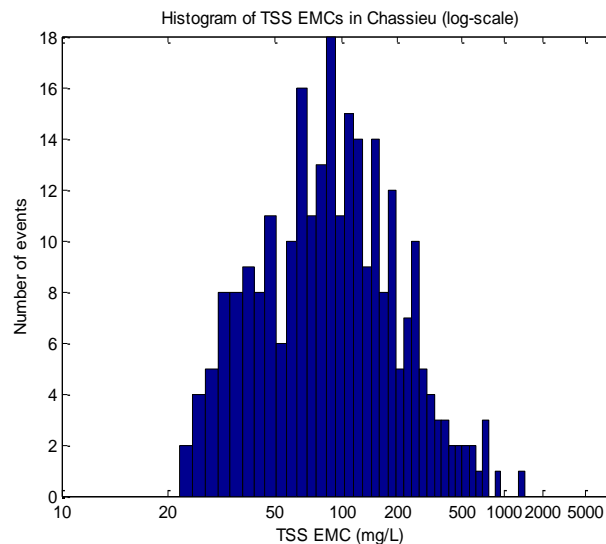


Figure 4 : histogramme des concentrations moyennes événementielles en MES à Chassieu (période 2004-2008, 263 événements mesurés en continu).



5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

## Mesure en continu des débits et des flux polluants en hydrologie urbaine : intérêt, traitement et valorisation

Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI

GRANDLYON **grai**

Espace Tête d'Or - LYON/VILLEURBANNE - Jeudi 9 février 2012

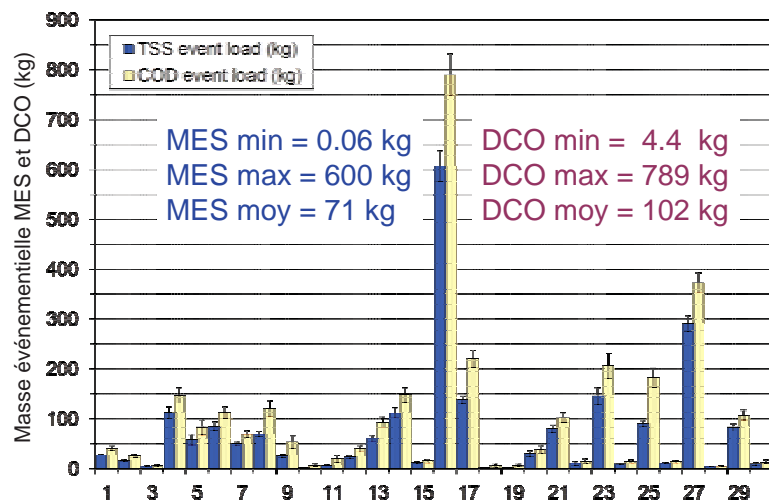


2

## INTERET

- Forte variabilité inter-événementielle des RUTP
  - durée, période de retour, durée de temps sec antérieure, débit, volume, concentration et charge polluante
- Variations intra-événementielles importantes
  - débit et concentration
- Conséquence : disposer de **mesures représentatives**
  - échelle événementielle
  - échelle annuelle

## INTERET

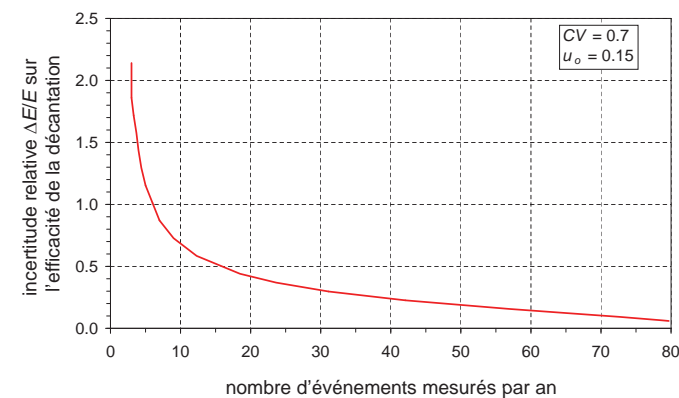


30 déversements réseau unitaire à Ecully en 2004



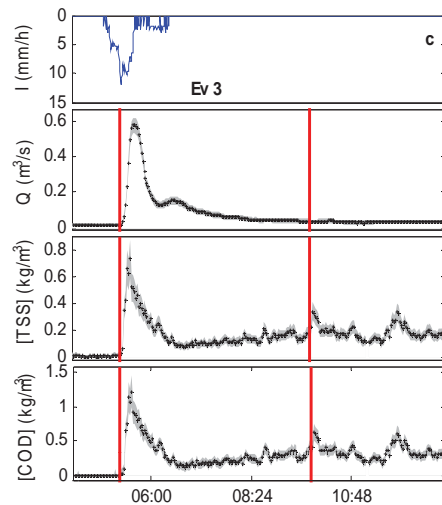
3

## INTERET

Efficacité  $E$  de la décantation dans un bassin de retenue

4

## INTERET



## INTERET

- Limitations des campagnes de mesure classiques avec préleveurs d'échantillons
  - (trop) peu d'événements mesurés par an
  - information pauvre sur la dynamique intra-événementielle
  - lourdeur de la mise en œuvre (prélèvements p/r volumes écoulés)
  - contraintes fortes (transports, conservation, délais...)
  - coût élevé par unité d'information

## INTERET

- Une solution possible : mesurages en continu
  - débit + polluants : MES, DCO<sub>tot</sub>, DCO<sub>dissoute</sub>, autres
- Turbidité : expérience de +10 ans en recherche (URBIS)
  - validation de l'approche pour MES et DCO<sub>tot</sub>
  - transfert des connaissances, méthodes, pratiques, outils
    - conférences
    - articles TSM, La Houille Blanche
    - site [www.turbidite-assainissement-cil.fr](http://www.turbidite-assainissement-cil.fr)
    - guide technique ASTEE-SHF en cours de rédaction
    - information ► formation (ex. GRAIE / INSACAST)

[www.turbidite-assainissement-cil.fr](http://www.turbidite-assainissement-cil.fr)

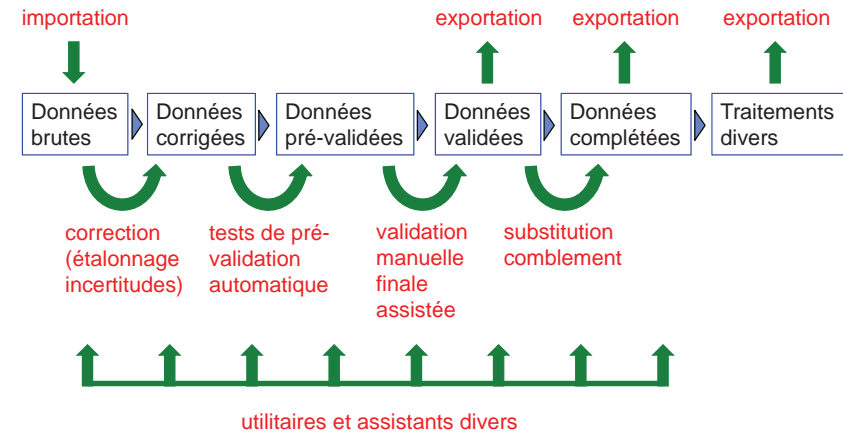
## TRAITEMENT DES DONNEES

- Mesurages en continu à pas de temps court (1 à 5 min)
- Production de très grandes quantités de données
- Nécessité de méthodes spécifiques
- Outils informatiques automatisés



9

## METHODOLOGIE GENERALE



10

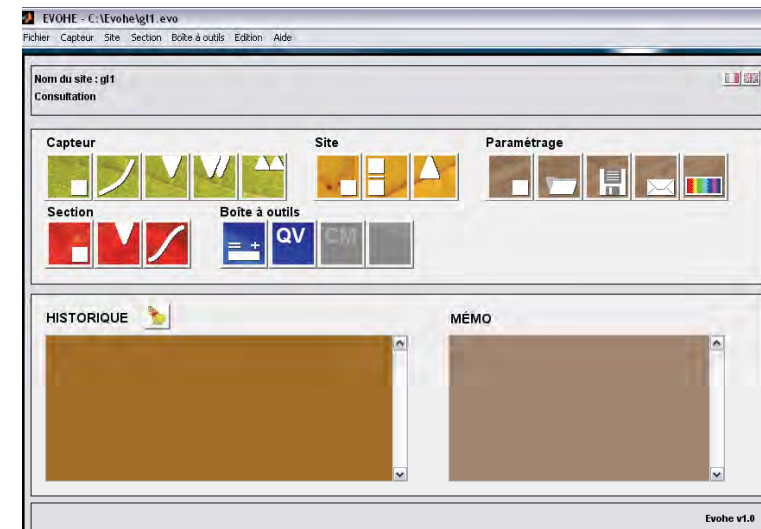
## TRAITEMENT DES DONNEES

- Transfert OTHU ► opérationnels : **EVOHE**
  - Développement INSA Lyon
  - Commercialisation Alison
  - Soutien LST (Lyon Science Transfert) + partenaires
  - Version 1.0 : février 2012
  - Deux versions par an
  - Complément aux outils existants (superviseurs, etc.)



11

## EVOHE



12

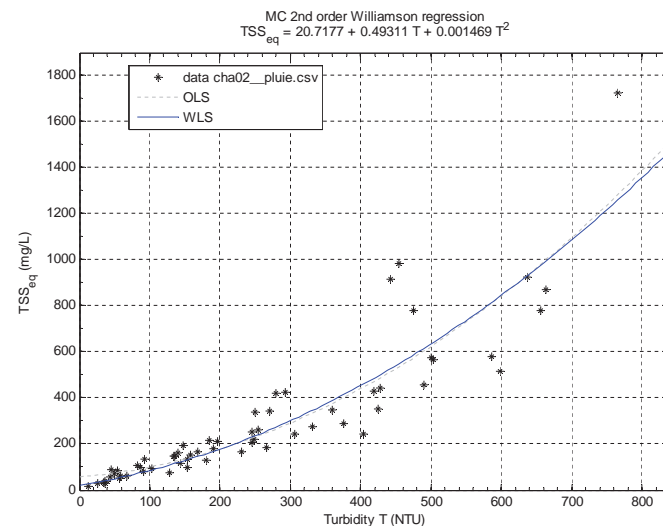
## VALORISATION

- Utilisation des données
  - autosurveillance réglementaire
  - diagnostic permanent
  - connaissance du fonctionnement du système
  - études
  - modélisation
  - planification et schémas directeurs
  - régulation et gestion temps réel...
- Exemple : débit et turbidité



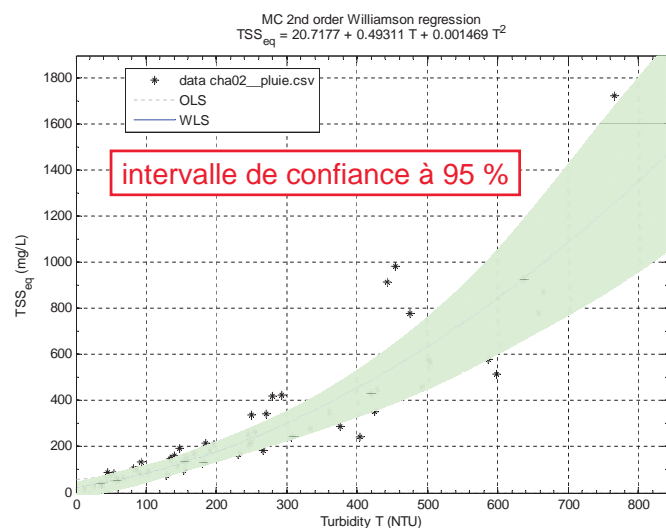
13

## FONCTION DE CORRELATION



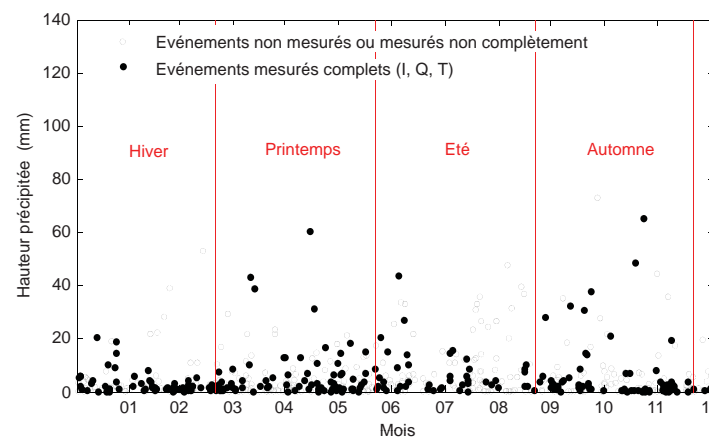
14

## FONCTION DE CORRELATION



15

## REPRESENTATIVITE INTER-ANUELLE

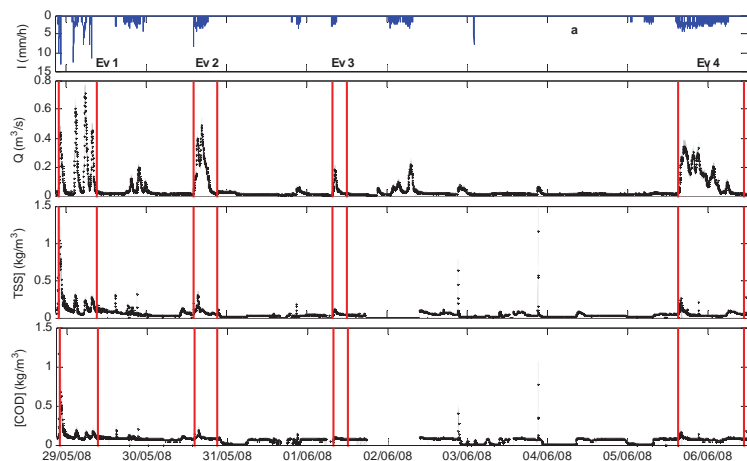


263 événements sur 655 pour la période 2004-2008



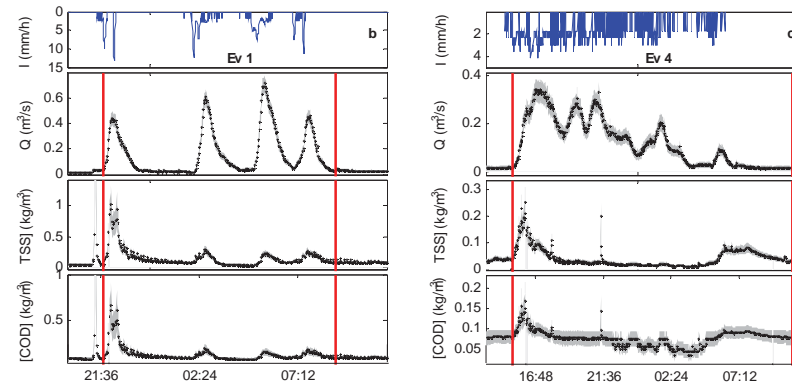
16

## DYNAMIQUE INTRA-EVENEMENTIELLE



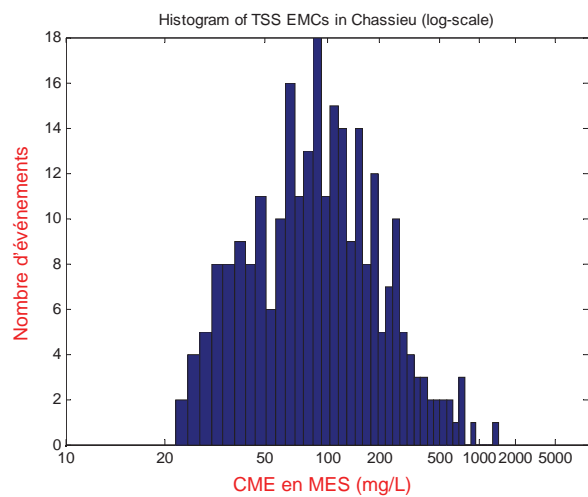
17

## DYNAMIQUE INTRA-EVENEMENTIELLE



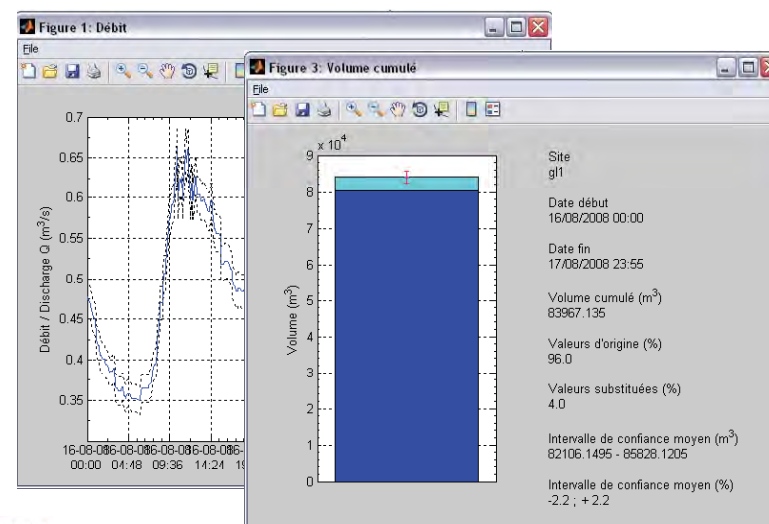
18

## CONCENTRATIONS EVENEMENTIELLES



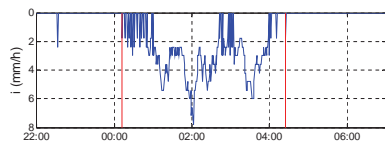
19

## BILAN SUR UNE PERIODE DONNEE

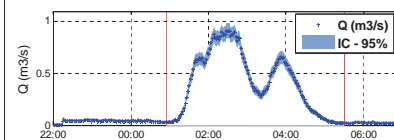
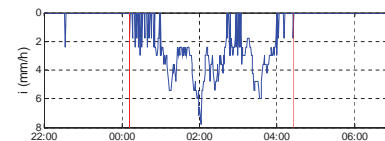


20

### Evénement pluvieux du 17 mai 2008

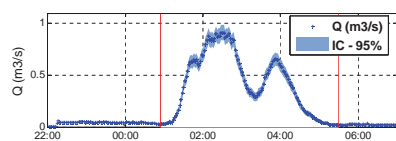
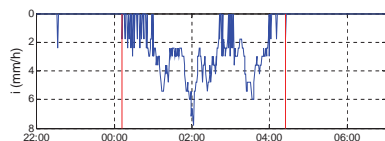


### Evénement pluvieux du 17 mai 2008

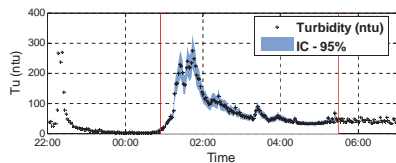


- Q calculé par Manning-Strickler  
 -  $u_{site}(h) = 7.5 \text{ mm } (+/- 2^*u = 95 \% \text{ CI})$

### Evénement pluvieux du 17 mai 2008

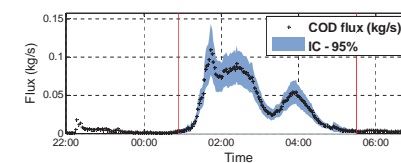
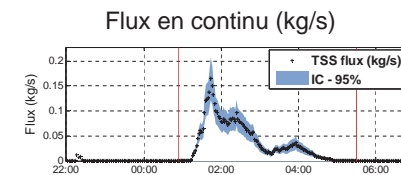
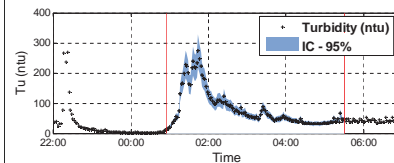
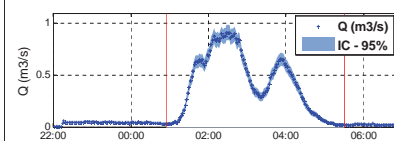
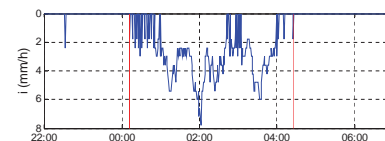


- Q calculé par Manning-Strickler  
 -  $u_{site}(h) = 7.5 \text{ mm } (+/- 2^*u = 95 \% \text{ CI})$

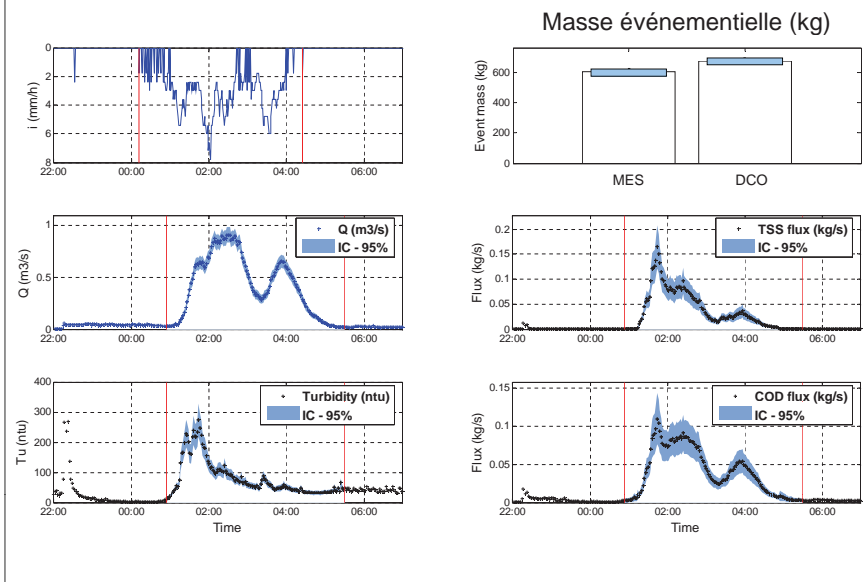


- Turbidité  $T$  (FNU)  
 -  $u_{site}(T) = 10 \% \text{ de } T \text{ (FNU)}$

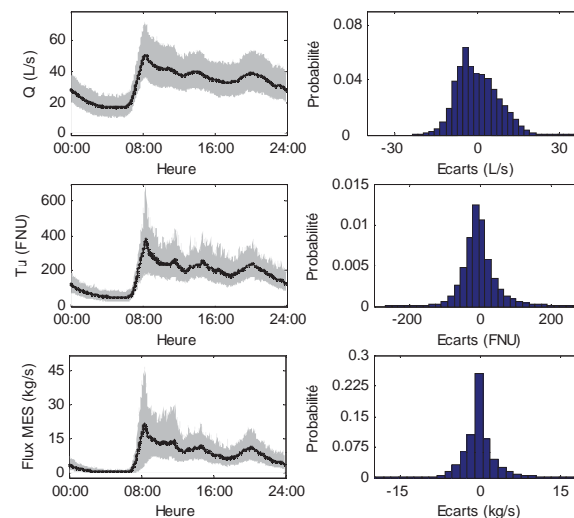
### Evénement pluvieux du 17 mai 2008



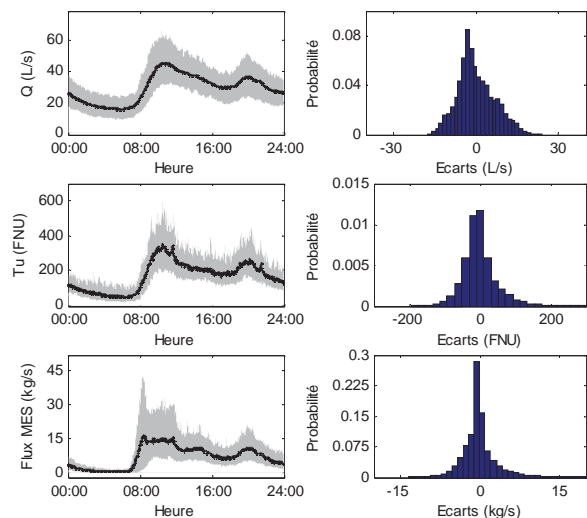
### Événement pluvieux du 17 mai 2008



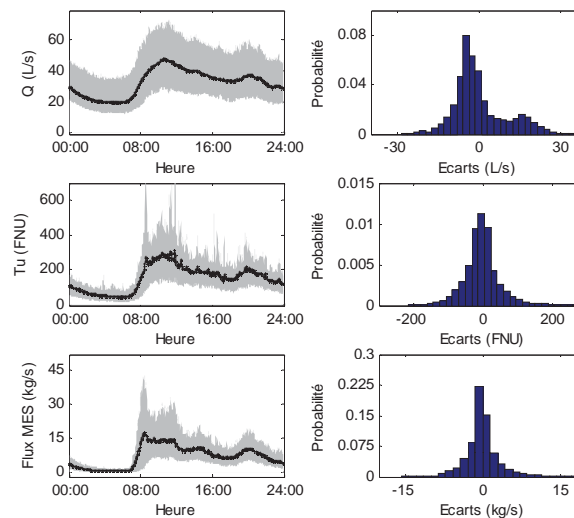
### JTS classe 1 (jours de semaine)



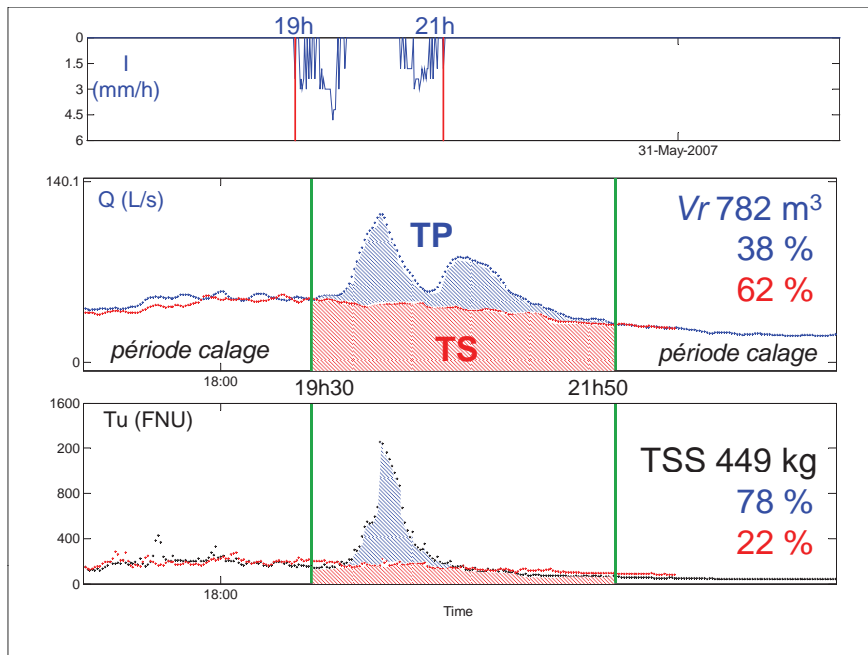
### JTS classe 2 (week-ends)



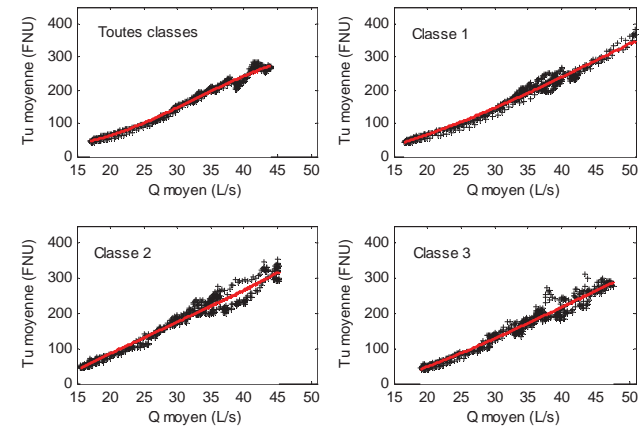
### JTS classe 3 (vacances)







## Turbidité TS = f(débit)



## VALORISATION

- Autres applications
  - courbes M(V) pour stratégie de dépollution
  - calage de modèles
  - ...

## CONCLUSION

- Mesurages en continu débit + polluants
  - intérêt
  - approche validée
  - applicable de manière opérationnelle
  - transfert, information, formation
  - outils disponibles et applicables



## Mesure des débits en continu sur les cours d'eau péri-urbains

---

Flora BRANGER ,  
IRSTEA - UR Hydrologie - Hydraulique

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

## Mesure des débits en continu sur les cours d'eau péri-urbains

**Flora BRANGER- IRSTEA UR HH**

GRANDLYON **graie**

Espace Tête d'Or - LYON/VILLEURBANNE - Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

## Mesure des débits en continu sur les cours d'eau péri-urbains

- **Principe**
  - Mesure en continu de la hauteur d'eau
  - Transformation hauteur – débit par courbe de tarage (CT)
  - Etablissement d'une CT par réalisation de jaugeages (couples de mesures h,Q) et calage d'une loi passant par ces jaugeages


**Méthodologie et logiciel BaRatin**

- Caler la courbe
- Estimer son incertitude

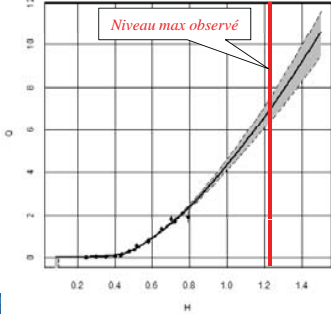
**Applications**

- Stations OTHU du BV Yzeron
- Méthode en cours de transfert vers les services opérationnels en hydrométrie (SPC, DREAL)
- Potentiellement applicable aux mesures en conduite (hors mise en charge)

**Voir fiche technique OTHU N 26: « Méthode d'estimation des incertitudes sur les courbes de tarage »**



station Charbonnières (Yzeron) : jaugeages disponibles (points noirs) courbe de tarage calée (noir), incertitude (intervalle 95%, gris)





## **Bio-indication – Connaissance de l'état de la nappe et conséquences des infiltrations par temps de pluie**

---

Pierre MARMONIER, Chafik MAAZOUZI,  
Université Lyon 1 (LEHNA E3S)



## Bio-indication - Connaissance de l'état de la nappe et conséquences des infiltrations par temps de pluie

Pierre MARMONIER, Chafik MAAZOUZI, Arnaud FOULQUIER et Florian MERMILLOD-BLONDIN

Université Lyon 1, Université de Lyon, UMR-CNRS n°5023 Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés (LEHNA) - Equipe Ecologie, Evolution, Ecosystèmes Souterrains.

### RESUME

Les bassins d'infiltration d'eaux pluviales urbaines sont une réponse au ruissellement excessif des eaux de pluie en zone urbaine. La ré-infiltration de cette eau météorologique permet de maintenir une recharge de nappe dans un contexte d'imperméabilisation des sols lié à l'urbanisation. Mais les conséquences écologiques de ces bassins d'infiltration restent difficiles à estimer car leur influence peut se faire sentir sur des périodes très courtes (au moment des événements pluvieux), l'accès à la nappe est souvent difficile (profondeur des puits, épaisseur de la zone insaturée), la variabilité environnementale induite par les infiltrations est parfois ténue, enfin les peuplements d'organismes qui pourraient fournir des indicateurs biologiques sont la plupart du temps très peu denses et peu diversifiés.

Trois stratégies de connaissance de la qualité de la nappe et d'étude des conséquences des infiltrations ont été développées par notre laboratoire : (1) des enregistrements en continu des caractéristiques physico-chimiques des nappes, (2) des suivis de la matière organique et de l'oxygène au toit des nappes et (3) l'utilisation d'organismes comme "sentinelles" (biofilms et invertébrés souterrains).

**Les enregistrements en continu des caractéristiques physico-chimiques des nappes** (niveau piézométrique, température, conductivité électrique) permettent de mieux suivre la dynamique des apports d'eau pluviale, soit à l'échelle d'un épisode pluvieux, soit à l'échelle des fluctuations saisonnières. Ils renseignent sur le temps de latence entre un événement pluvieux et l'arrivée de l'eau de pluie au toit de la nappe et son impact sur la thermie des eaux souterraines. Ces études nécessitent l'instrumentation d'un piézomètre de référence, situé hors de la zone d'influence du bassin d'infiltration, et d'un piézomètre subissant ces influences.

**Les suivis de dynamique de la matière organique et de l'oxygène au toit des nappes** permettent de suivre la biodégradation des substances organiques apportées par les eaux pluviales (Carbone Organique Dissous) et leurs conséquences sur les communautés bactériennes responsables de cette biodégradation (diminution des teneurs en oxygène dissous utilisé pour la respiration). Ces suivis permettent de comparer les différents bassins entre eux et ainsi de préciser les conditions optimales de dégradation des substances carbonées.

Il semble ainsi que les conditions optimales soient atteintes pour des bassins d'infiltration drainant une surface réduite de ville et possédant une zone insaturée importante. L'infiltration à la source semble donc une stratégie gagnante. Cette approche permet aussi d'estimer la "durée de vie écologique" d'un bassin, au-delà de laquelle il ne retient plus efficacement les matières organiques.

**L'utilisation d'organismes sentinelles comme "sondes biologiques"** vient compenser la difficulté de récolter des sédiments (pour l'étude des communautés microbiennes formant des biofilms) et des macro-organismes au fond des puits. L'option choisie est de récolter des biofilms ayant poussé sur des substrats artificiels (billes de verre) et de mesurer leur biomasse ainsi que leurs activités. Les bassins d'infiltration, par leurs apports de matériel biodégradable, induisent une croissance anormalement forte des biofilms souterrains, mais cette croissance n'est pas corrélée aux quantités de carbone organique. Des recherches doivent être menées sur la qualité de ces apports plus que sur leur quantité. Les invertébrés sentinelles sont placés dans des cages et immergés au fond des puits situés en amont et en aval de bassins d'infiltration. Leur taux de survie, ainsi que l'état de leurs réserves métaboliques, renseignent sur la perturbation écologique de l'écosystème souterrain. Toutefois, des recherches doivent être menées pour trouver de nouveaux marqueurs de leur état physiologique et préciser ainsi les effets de ces infiltrations d'eau pluviales.

En conclusion, la combinaison d'enregistrements en continu, d'études fonctionnelles ponctuelles et de "sentinelles" microbiennes ou invertébrées devraient permettre de mieux caractériser les effets des bassins d'infiltration d'eau pluviale sur les nappes souterraines de l'Est lyonnais. Leur combinaison avec des capteurs intégratifs accumulant les substances toxiques circulant dans les nappes permettrait de compléter cette batterie d'indicateurs de qualité de l'écosystème souterrain.

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

## Bio-indication - Connaissance de l'état de la nappe et conséquences des infiltrations par temps de pluie

**Pierre MARMONIER, Chafik MAZOUZI  
Arnaud FOULQUIER et  
Florian MERMILLOD-BLONDIN**  
UMR 5023 LEHNA CNRS-Université Lyon 1  
Ecologie, Evolution, Ecosystèmes Souterrains

GRANDLYON **graie** Espace Tête d'Or - LYON/VILLEURBANNE - Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

## Les bassins d'infiltration des eaux pluviales urbaines : une réponse au ruissellement excessif

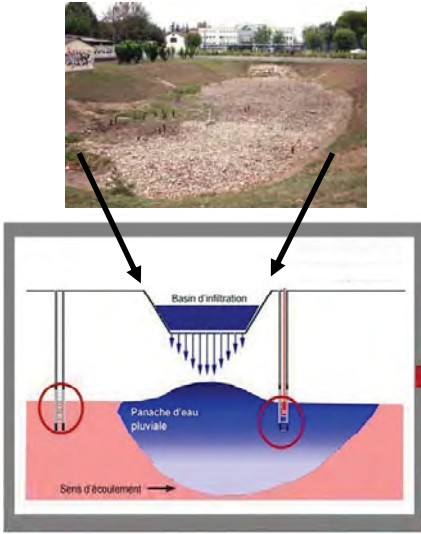


GRANDLYON **graie** Espace Tête d'Or - LYON/VILLEURBANNE - Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages



Ruissellement sur la ville

Sol du bassin

Zone non-saturée

Nappe souterraine

GRANDLYON **graie** Espace Tête d'Or - LYON/VILLEURBANNE - Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

## Quelles conséquences sur la qualité de la nappe ? Difficiles à estimer :

- ▶ Périodes courtes liées aux épisodes pluvieux
- ▶ Accès difficile de la nappe
- ▶ Peuplements de macro-organismes peu denses et peu diversifiés

### Quelques effets fréquents :

- ▶ Moins d'oxygène dissous en aval des bassins
- ▶ Plus de Carbone organique dissous et de Phosphore
- ▶ Mais peu (ou pas) d'apports toxiques

GRAIE - GRAND LYON - Jeudi 9 février 2012



## Trois stratégies de connaissance de la qualité de la nappe et d'étude des conséquences des infiltrations

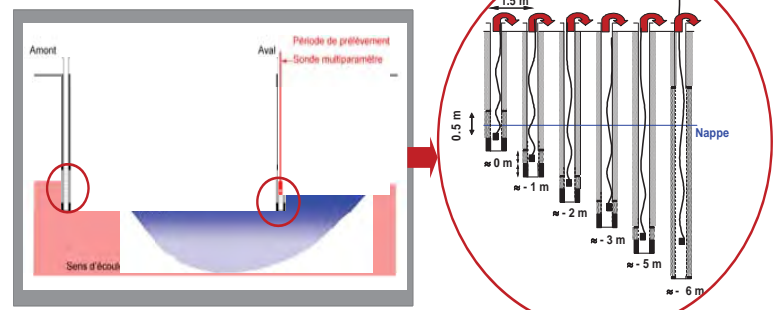
- Enregistrements en continu
- Des suivis de la matière organique et de l'oxygène
- Des organismes comme "sentinelles"

## Les enregistrements en continu

- Niveau piézométrique
- Température
- Conductivité électrique

- ▶ Stratégie : station de référence / station impactée par les apports des bassins (recharge)
- ▶ Stratégie : suivi des fluctuations saisonnières et suivi d'épisodes pluvieux

## Mesures physiques, chimiques et biologiques

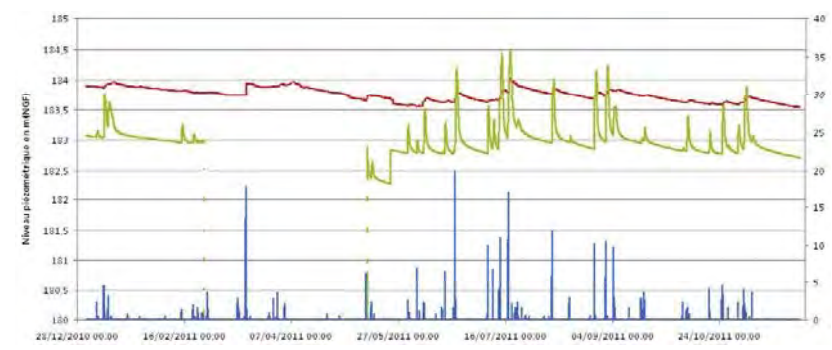


Piézomètres de référence

Piézomètres de suivi du bassin

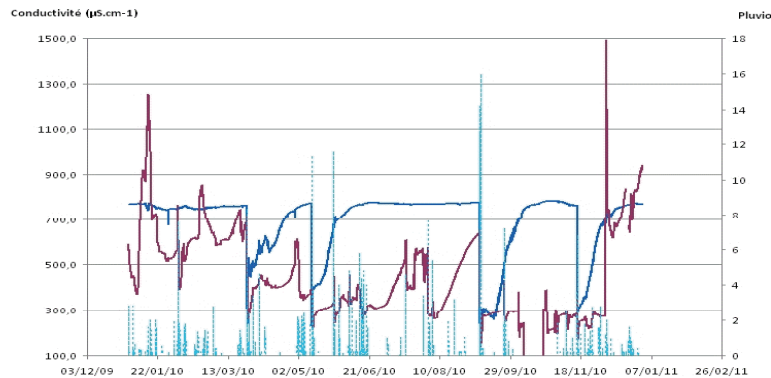
Piézomètres en flute de Pan

## Exemple des niveaux piézométriques en amont et en aval du bassin de Minerve en 2011



Chaque épisode pluvieux (en bleu) induit des hausses du niveau de la nappe plus marquées en aval (en vert) qu'en amont (en rouge).

### Exemple de la conductivité électrique en amont et en aval du bassin de Minerve en 2010



Les pluies induisent des baisses de conductivité (dilution des eaux souterraines) mais parfois de fortes hausses (salage des routes en hiver).

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

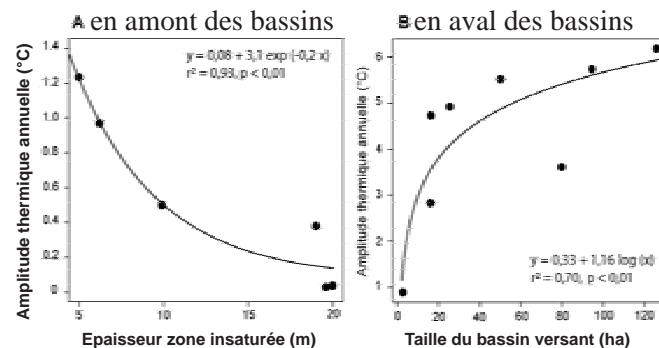
### Exemple de la température en amont et en aval du bassin de Django Reinhard de 2002 à 2007



Les infiltrations d'eau pluviale induisent une augmentation de la variabilité thermique de la nappe (ici de 9.5 à 19.3°C en 2004 !)

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

### Comparer les comportements de différents bassins



La taille de la surface drainée contrôle fortement les effets thermiques des infiltrations d'eau pluviales

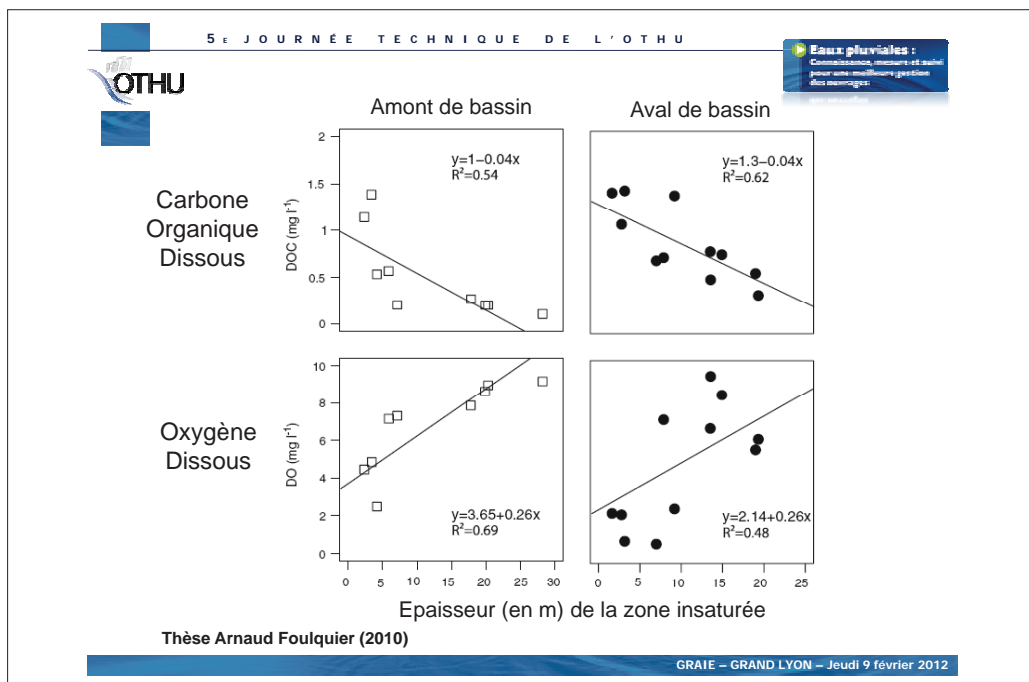
Thèse Arnaud Foulquier (2010)

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012


### Des suivis de la matière organique et de l'oxygène

- Des marqueurs des apports en matière biodégradable
- Des indicateurs de la réponse biologique de l'écosystème nappe (respiration)
  - ▶ Comparaison inter-bassins
  - ▶ Evolution de l'efficacité des bassins au fil des années

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU




**Eaux pluviales :**  
 Connaissance, mesure et suivi  
 pour une meilleure gestion  
 des ouvrages.

## Des organismes sentinelles comme "sondes biologiques"

- Difficultés à pomper des sédiments dans les puits pour les analyses des communautés microbiennes
  - ▶ Biofilm croissant sur les substrats artificiels (billes de verre)
- Très faible densité de macro-organismes
  - ▶ Invertébrés engagés

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU



**Eaux pluviales :**  
 Connaissance, mesure et suivi  
 pour une meilleure gestion  
 des ouvrages.

## Impact de l'infiltration d'eau pluviale sur les biofilms

Stimulation du compartiment microbien par l'infiltration d'eau pluviale (avec COD) (Foulquier et al., 2011)


Mise au point d'une technique simple afin de quantifier l'impact trophique de l'infiltration sur les nappes

↓

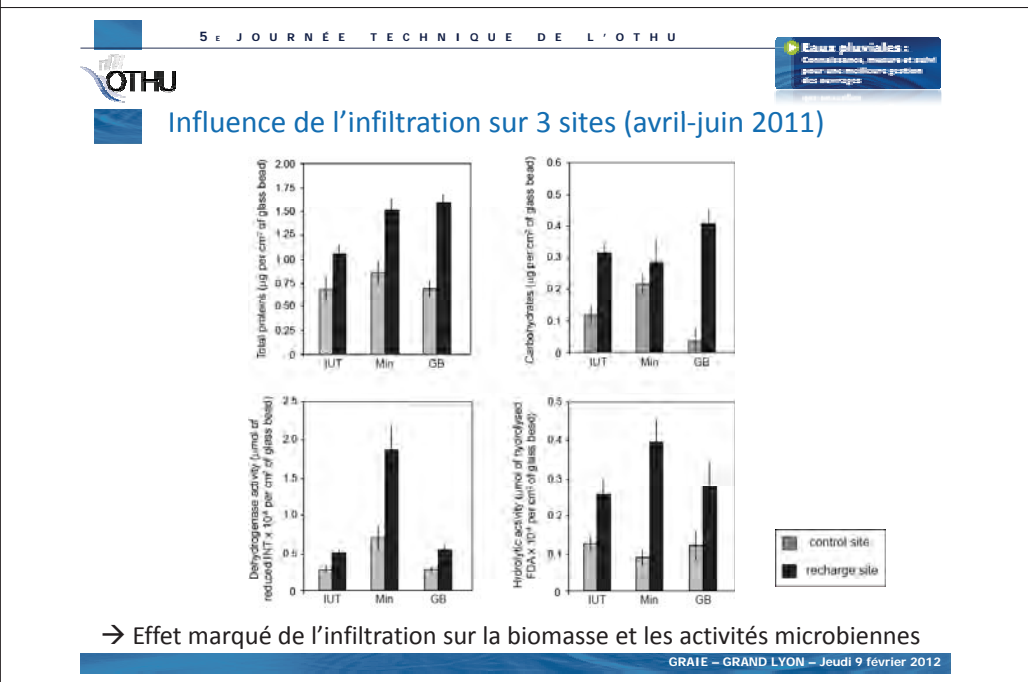
Développement du biofilm sur billes de verre

Mesures réalisées après 2 mois d'exposition

Analyses de biomasses et d'activités enzymatiques + Mesure du carbone organique dissous



GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



5 E JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages.

## OTHU

### Quid des apports en carbone organique dissous

Sites	Recharge-Contrôle	COD moyen (mg/L)
Minerve	Contrôle	1,33
	Recharge	2,01
Grange Blanche	Contrôle	1,17
	Recharge	1,62
IUT	Contrôle	0,71
	Recharge	1,81

→ Enrichissement en carbone organique dissous par l'infiltration

→ Bonnes corrélations COD / biomasse... mais relations différentes  
→ Qualité du COD

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5 E JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages.

## OTHU

### Des invertébrés sentinelles mis en cage...

*Gammarus pulex* (surface)

*Niphargus rhenorhodanensis* (souterrain)

**Paramètres étudiés**

Survie (1 vs. 4 semaines)  
Réserves métaboliques

**Etudes : 2009, 2010 et 2011**

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5 E JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages.

## OTHU

### Effet Maille et Sexe sur la survie

3 tailles de maille : 1 mm (L) ; 500 µm (M) ; 200 µm (S)  
2 sexes : Male & Femelle

Aucun effet taille de maille  
Aucun effet sexe

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5 E JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages.

## OTHU

### Survie et Réserves énergétiques: *Niphargus*

Comparaison de 4 bassins d'infiltration

Survies

Teneurs en Glycogène  
Teneurs en Triglycérides

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages.

## Recherche d'un indicateur de qualité

Indice de santé des organismes : f° (Survie, Réserves énergétiques)  
Indice de qualité des eaux : f° (Oxygène dissous, COD)

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages.

## CONCLUSION : ce que l'on doit retenir

- Les bassins d'infiltrations sont efficaces pour retenir les polluants
  - MAIS : il faut une zone insaturée suffisante
  - MAIS : il faut une surface drainée faible
- L'infiltration à la source est une "bonne stratégie"
- Attention à la pollution thermique !

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages.

## CONCLUSION : ce que l'on doit retenir

- Les enregistrements en continu sont de bons outils
  - MAIS : maintenance complexe
  - MAIS : piézomètre de référence en amont
- Les organismes sentinelles sont une bonne piste pour un outil futur
  - MAIS : mieux comprendre les effets combinés quantité / qualité des apports organiques
  - MAIS : trouver d'autres descripteurs physiologiques

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages.

## CONCLUSION : ce que l'on doit retenir

- Combinaison d'enregistrements en continu, d'études fonctionnelles ponctuelles et de "sondes biologiques" comme sentinelles

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages.

En vous remerciant de votre attention



Université de Lyon, UMR-CNRS 5023  
Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés  
Equipe Ecologie, Evolution, Ecosystèmes Souterrains (E3S)

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012







## **Vers le développement de méthodes de suivi in situ : exemple d'un biocapteur algal**

---

Claude DURRIEU, Yannis FERRO,  
ENTPE (LEHNA IPE)



## Vers le développement de méthodes de suivi in situ : exemple d'un biocapteur algal

Yannis FERRO; Claude DURRIEU,

Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés (LEHNA) Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (ENTPE)

### RESUME

Les rejets urbains par temps de pluie (RUTP) sont une source importante de contamination pour les milieux récepteurs. En effet de nombreuses études menées en France [1–4] comme à l'international [5–7] ont montré la présence récurrente de métaux lourds, d'hydrocarbures et de pesticides dans des concentrations bien en delà des normes de qualité environnementales (NQE) fixées par l'Union Européenne. Ces rejets sont donc susceptibles de porter atteinte aux écosystèmes et de compromettre le bon état écologique des masses d'eau (objectif de la directive cadre sur l'eau).

Ces effluents sont constitués de l'ensemble des eaux rejetées par les installations d'épuration, les déversoirs d'orage et les exutoires pluviaux pendant un événement pluvieux et la période qui lui succède, le système d'assainissement n'ayant pas encore retrouvé un fonctionnement nominal de temps sec. [8]

Les conséquences de ces rejets sur les écosystèmes et les habitats se font ressentir à plusieurs échelles de temps et d'espace. A court terme et à une échelle localisée on assiste à des effets de choc (augmentation de la turbidité, chute du taux d'oxygène dissous, bloom algal, etc.). A des échelles de temps et d'espace plus larges on constate d'autres effets souvent différés (atteinte du génome des organismes, mortalité, problèmes de reproduction, etc.) [9]. A l'heure actuelle on ne connaît encore pas toutes les conséquences que peuvent avoir ces rejets sur les milieux récepteurs, et il n'est donc pas possible de prédire la dangerosité/toxicité de ces derniers.

Aussi nous travaillons, grâce aux moyens de l'OTHU, à mettre au point des techniques d'évaluation de la dangerosité de ces effluents via l'utilisation d'algues unicellulaires comme organismes bioindicateurs. Les ouvrages d'assainissement pluvial instrumentés par l'OTHU sur le territoire du Grand Lyon nous permettent d'avoir accès à un véritable « laboratoire de terrain », à savoir un lieu d'études réel, fidèle aux problématiques que rencontrent les gestionnaires, et en même temps, un lieu équipé d'instruments nécessaires aux travaux de recherche. On peut citer ainsi la présence de préleveurs automatiques couplés à des mesures de température, conductivité, turbidité et débit. Ceci nous permet d'obtenir des échantillons de qualité, accompagnés d'informations concernant leurs caractéristiques physicochimiques et les conditions du prélèvement. La finalité de nos travaux est donc de mettre au point des outils d'évaluation de la dangerosité de ces rejets aux moyens d'algues unicellulaires, *chlorella vulgaris* et *pseudokirchirella subcapitata*, choisies comme espèces bioindicatrices. Ces microalgues dulçaquicoles sont ubiquistes des milieux aquatiques et ont la propriété de voir leur comportement modifié en présence de certains toxiques.

Par exemple on assiste à la perturbation de leur croissance, à une variation de leur activité photosynthétique ou des variations de certaines activités enzymatiques. Nous utilisons ces propriétés afin de déterminer la dangerosité des effluents. Les essais menés au laboratoire sur l'efficacité photosynthétique et sur les activités enzymatiques ont montré d'importantes perturbations en présence des échantillons RUTP prélevés.

C'est pourquoi il est indispensable de pouvoir faire des mesures de toxicité en continu (monitoring) sur le lieu du rejet afin de réagir rapidement en cas de pollution (ces tests sont souvent appelés *early warning system*). Nous nous dirigeons actuellement vers la création d'une unité automatisée et autonome pour la mesure in situ de la perturbation des activités enzymatiques algales. Cette unité va constituer une étape importante dans le suivi de la qualité des rejets et permettra de mieux comprendre et d'anticiper les effets des RUTP sur les écosystèmes.

### REFERENCES

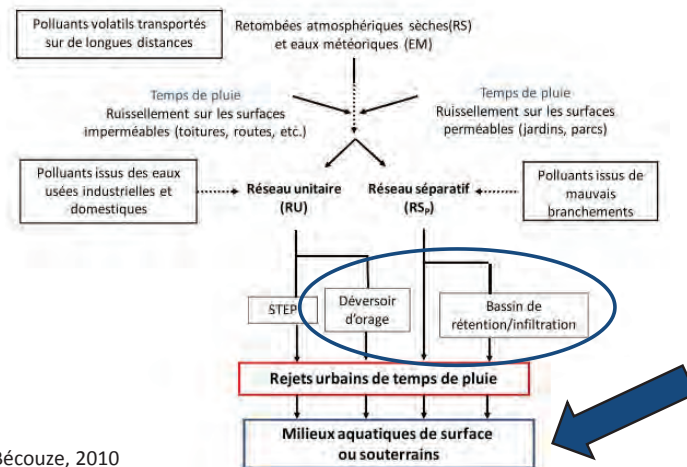
1. Ruth Angerville. *Evaluation des risques écotoxicologiques liés au déversement de Rejets Urbains par Temps de Pluie (RUTP) dans les cours d'eau : Application à une ville française et à une ville haïtienne*. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2009.
2. Céline Becouze-Lareure. *Caractérisation et estimation des flux de substances prioritaires dans les rejets urbains par temps de pluie sur deux bassins versants expérimentaux*. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2010.
3. Adèle Bressy. *Flux de micropolluants dans les eaux de ruissellement urbaines. Effets de différents modes de gestion des eaux pluviales*. Thèse de doctorat, Université Paris Est, Paris, 2010.
4. Abel Dembélé. *MES, DCO et polluants prioritaires des rejets urbains de temps de pluie: mesure et modélisation des flux événementiels*. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2010.
5. I Gnecco, C Berretta, L G Lanza, and P La Barbera. Storm water pollution in the urban environment of Genoa, Italy. *Atmospheric Research*, 77(1-4):60–73, 2004.
6. E Eriksson, A Baun, L Scholes, A Ledin, S Ahlman, M Revitt, C Noutsopoulos, and P S Mikkelsen. Selected stormwater priority pollutants – a

- European perspective. *Science of the Total Environment*, 383(1-3):41–51, 2007.
7. R Aryal, S Vigneswaran, J Kandasamy, and R Naidu. Urban stormwater quality and treatment. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 27(5):1343–1359, 2010.
  8. Bernard Chocat, Jean-Luc Bertrand-Krajewski, and Sylvie Barraud. Eaux pluviales urbaines et rejets urbains par temps de pluie. *Techniques de l'ingénieur. Technologies de l'eau*, 2(n°W6800):19, 2007.
  9. Charlotte Parent and J C Boisson. Impacts des rejets urbains de temps de pluie (RUTP) sur les milieux aquatiques : État des connaissances. *Revue des Sciences de l'Eau/Journal of Water Science*, 20(2):229– 239, 2007.

## Plan de la présentation

- ▶ Intro/contexte
- ▶ Les sites de l'OTHU: « un labo de terrain »
- ▶ Les algues, des organismes bioindicateurs
- ▶ Vers un dispositif automatisé de suivi de la qualité des rejets

## Introduction/Contexte



C. Bécouze, 2010

### Des polluants organiques

#### Des polluants minéraux

- Métaux lourds

#### Des polluants biologiques

- Bactéries (coliformes fécaux)
- Virus

- HAPs
- PCBs
- Organoétains
- Pesticides
- Alkylphénols
- « Hormons-like »
- Nanoparticules

Particulaire/dissous



Effets de ce cocktail sur le milieu récepteur ?

### Des effets à court terme

- Élévation turbidité
- Chute du taux O<sub>2</sub>
- Bloom algale
- Dégradation des habitats

↓  
Effets de choc

### Des effets à long terme

- Bioaccumulation
- Dommages à l'ADN
- Pbs reproduction
- Mortalité

↓  
Effets différés

➔ Comment anticiper ces dangers ?

## L'OTHU: un « laboratoire de terrain »

### Plusieurs types d'ouvrage

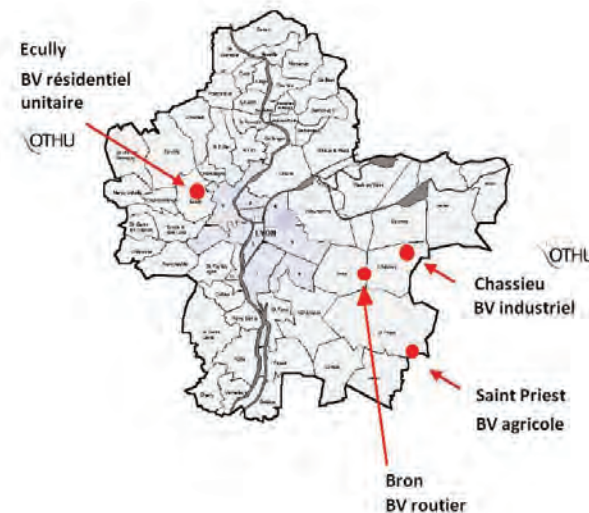
- Déversoirs d'orage
- Bassins d'infiltration/de rétention

### Des BV variés

- Résidentiel
- Industriel

### Des conditions de travail privilégiées

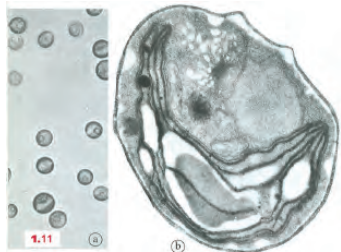
- Préleveurs programmables
- Suivi des paramètres physicochimiques
- Electricité
- Télétransmission des données
- Retours d'expérience



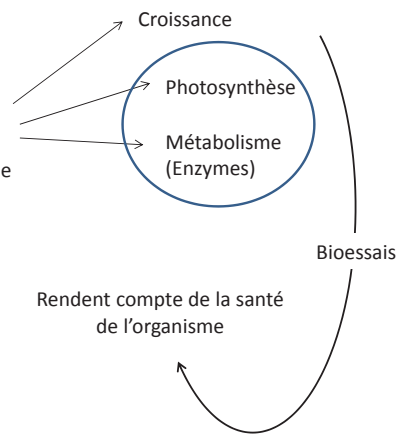
## Les algues unicellulaires: des organismes bioindicateurs

### Les algues unicellulaires

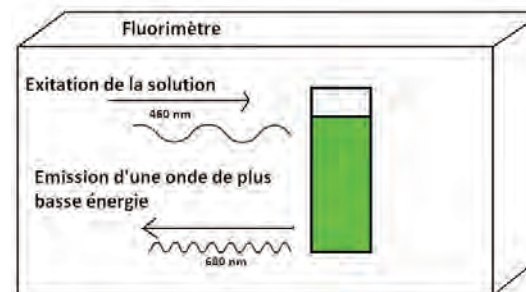
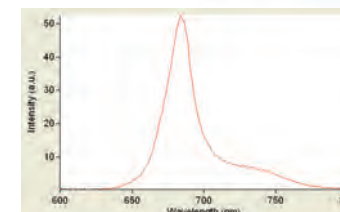
- Ubiquiste de nombreux milieux
- Faciles à cultiver et manipuler
- Dotés d'un grand réalisme écologique



*Chlorella vulgaris*



### Fluorescence chlorophyllienne





5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU** Les algues unicellulaires: des organismes bioindicateurs

**Eaux pluviales :** Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

### Fluorescence chlorophyllienne

**Diuron DCMU**

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU** Les algues unicellulaires: des organismes bioindicateurs

**Eaux pluviales :** Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

### % d'augmentation de la fluorescence après empoisonnement 24h d'exposition aux RUTS DJR

03/03/11

13/07/11

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU** Les algues unicellulaires: des organismes bioindicateurs

**Eaux pluviales :** Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

### Inhibition de l'efficacité photosynthétique 48h d'exposition aux RUTP Bron

19/10/11

02/01/12

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU** Les algues unicellulaires: des organismes bioindicateurs

### Activités enzymatiques

Substrat (+ tampon) → Produit

Dosage par sonde

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**Eaux pluviales :**  
Connaissances, mesure et suivi

OTHU Les algues unicellulaires: des organismes bioindicateurs

### Activités enzymatiques

- Activité estérase

% Inhibition de l'AE Ecully 24/02/11

% Inhibition de l'AE Django 24/02/11

% Inhibition de l'AE Bron 31/05/11

% Inhibition de l'AE Django 24/02/11

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**Eaux pluviales :**  
Connaissances, mesure et suivi

OTHU Les algues unicellulaires: des organismes bioindicateurs

### Activités enzymatiques

- Activité phosphatase

% Inhibition de l'APA DO Ecully 24.02.11

% Inhibition de l'APA, Bron 31.05.11

% Inhibition de l'APA Django 24/02/11

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**Eaux pluviales :**  
Connaissances, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

OTHU

### Vers un dispositif automatisé de suivi de la qualité des rejets

Possibilité de suivre l'activité enzymatique par conductimétrie

- Dépôts des algues sur des microélectrodes
- Filtrage du signal par Lock-in (Ampli op)
- Suivi des variations sur ordinateur
- Comparaison des activités/témoins

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**Eaux pluviales :**  
Connaissances, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

OTHU Vers un dispositif automatisé de suivi de la qualité des rejets

micro électrode interdigitée sur porte électrode

Bécher 2mL

barreau

Agitateur magnétique

port série

BNC / câble

Signal A Signal B Signal out

Lock in SR 830

INPUT A INPUT B Out Ref

GPIB

GPIB

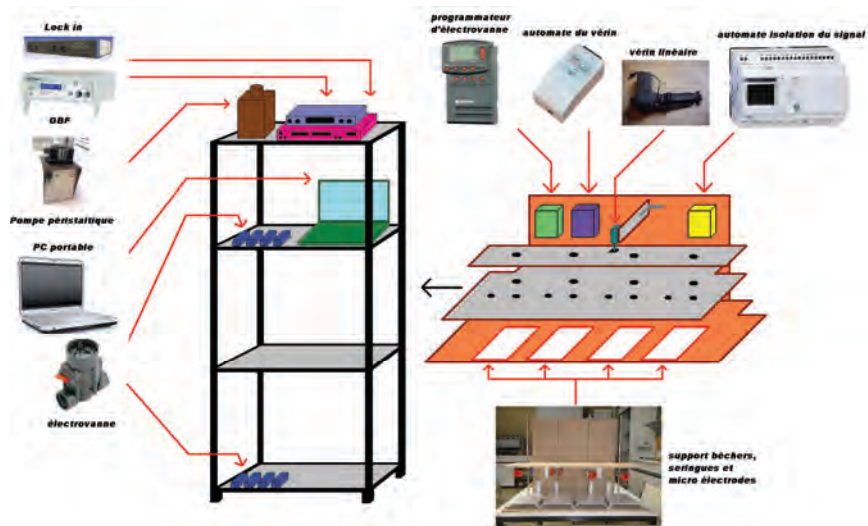
VGA

Ordinateur

Ecran

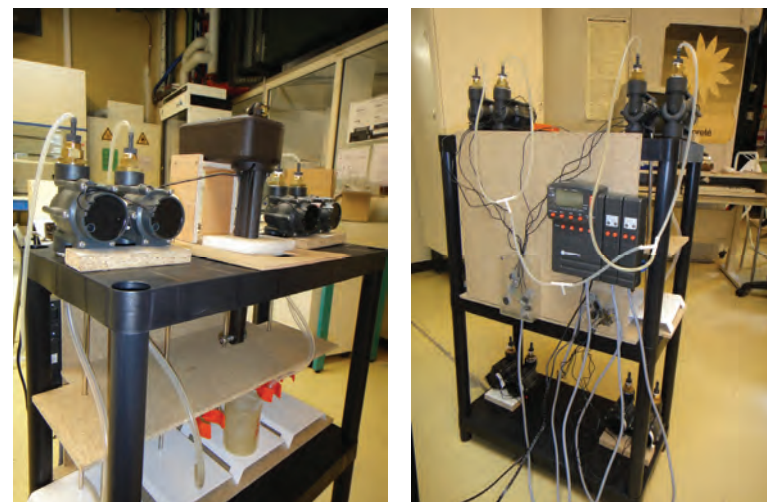
GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

Vers un dispositif automatisé de suivi de la qualité des rejets



GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

Vers un dispositif automatisé de suivi de la qualité des rejets



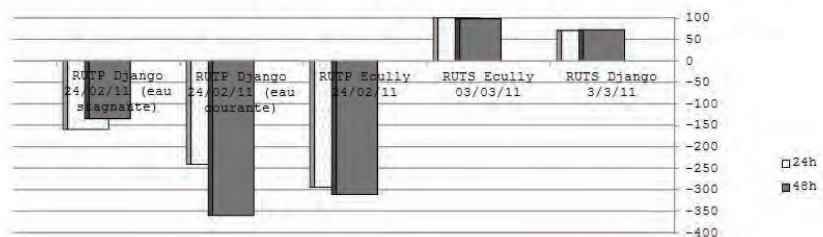
GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



Vers un dispositif automatisé de suivi de la qualité des rejets

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

Activité phosphatase alcaline  
Inhibition de dS, technique SAM (excitation = 100 mV)



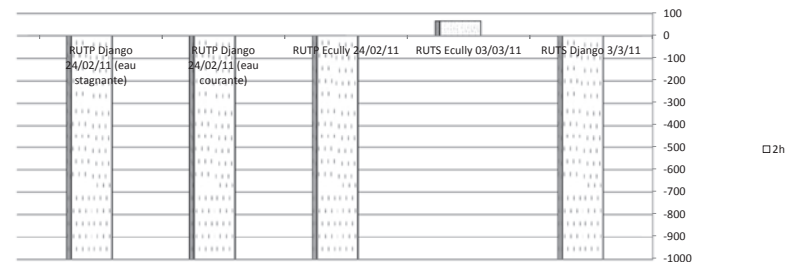
GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



Vers un dispositif automatisé de suivi de la qualité des rejets

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

Activité phosphatase alcaline  
Inhibition de dS, technique SAM (excitation = 100 mV)



GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



## Quand la ville fabrique la nature

---

Sébastien AH-LEUNG, Jean-Yves TOUSSAINT,  
INSA de Lyon (EVS ITUS)







**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

## Végétaux et eaux pluviales : Quand la ville fabrique la nature

Ah-Leung Sébastien,  
Toussaint Jean-Yves,  
Vareilles Sophie  
EVS-ITUS, INSA de Lyon



Sources : Toussaint J-Y

GRAND LYON

Espace Tête d'Or – LYON/VILLEURBANNE – Jeudi 9 février 2012



**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

## Introduction

- **Objectifs scientifiques** : produire des connaissances sur la fabrication et la mobilisation des écotecnologies
  - Connaissances sur les ressources que constituent ces écotecnologies pour les fabricants
    - ✓ Rendre compte des nouveaux modèles économiques nécessaires à l'existence des écotecnologies
    - ✓ Rendre compte des objectifs des fabricants (instrumentation)
  - Connaissances sur la mobilisation des écotecnologies par les publics dans leurs activités quotidiennes
    - ✓ Rendre compte des pratiques suscitées par l'introduction de ces techniques (instrumentalisation)
    - ✓ Analyser les nouvelles formes d'urbanités constituées par la mise en œuvre de ces techniques



Sources : Ah-leung S.



Sources : Toussaint J-Y



Sources : Toussaint J-Y

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



## Introduction

- **Objectifs opérationnels** : Produire des connaissances sur les conditions de réception et de généralisation des écotecnologies en ville :
  - sur les modalités des choix des techniques
  - sur les difficultés soulevées par l'usage, la maintenance et la gestion de ces techniques
  - mieux saisir les conditions de généralisation des techniques nouvelles ou alternatives
  - contribuer à la construction des critères d'aide à la décision



Sources : Toussaint J-Y



Sources : Toussaint J-Y



Sources : Deleuil J-M

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



## De la nature aux objets de nature

- Parmi les écotecnologies à étudier, nous nous intéressons à celles qui impliquent des « objets de nature »
  - Par « objets de nature » sont entendus des dispositifs à finalité technique (ici la gestion des eaux pluviales) utilisant ou asservissant des « écosystèmes » ou des « cycles naturels »
- Ces écotecnologies singulières sont-elles :
  - des éléments de nature incorporés dans la ville
  - ou des dispositifs techniques à part entière ?



Sources : Ah-leung S.



Sources : Ah-leung S.



Sources : Ah-leung S.

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

## De la nature aux objets de nature

- Pour régler des problèmes techniques, les acteurs de l'urbain introduisent des objets de nature
  - Par exemple, pour régler les problèmes de gestion des eaux urbaines, le recours aux techniques dites alternatives, plus proches des « cycles de l'eau » ou/et usant de micro-organismes, de plantes, etc. pour assurer la régularité de ces cycles
  - Ainsi :
    - ✓ Des nouveaux objets de nature (les plantes macrophytes, par exemple) sont introduits
    - ✓ Ou encore, la naturalité d'anciens objets de nature (les arbres ou l'eau dans le cadre de la régulation des îlots de chaleur, les pelouses pour l'infiltration, etc.) est réactualisée
- Le retour de la nature en ville participe à cette production de la nature par la ville
  - Les objets de nature s'inscrivent dans un contexte de « retour » à la nature
  - Cependant la ville constitue également un environnement produit pour pallier aux « manquements » de la nature vis à vis des humains (sécurité, fourniture en ressources, eaux, aliments, nécessité de travailler pour survivre dans la nature, etc.)

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

## Objets techniques / Objets de nature

- Les objets techniques sont des objets fabriqués (conçus, formés, fabriqués, maintenus en fonctionnement) en vue d'actions et d'activités sociales (usages, mobilisation des objets dans l'activité sociale)
  - La mobilisation des objets dans l'activité sociale, impliquant fabrication et usage, constitue le substrat de l'activité économique
- Les objets de nature sont des objets sélectionnés pour leurs propriétés en vue d'actions et d'activités sociales
- Les objets techniques et les objets de nature sont des non-humains
- Sont-ils si différents ?

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

## Le paradoxe de la nature

- Il est attribué à l'objet de nature une certaine autonomie (l'objet de nature se développerait sans la main de l'homme)
  - Mais les objets de nature en ville sont généralement totalement incapables de « survivre » ou de fonctionner sans la main des humains
  - En cela ils sont identiques aux objets techniques
- Il est difficile d'opposer objets techniques à objets de nature
  - Cela voudrait dire que les objets techniques sont hors de la nature
  - Mais sont-ils hors de la nature ?
    - ✓ Si oui, cela nous conduit à opposer artifice et nature, production humaine et nature
    - ✓ Si oui, alors les humains disposent de qualités et de propriétés hors de la nature ?
- La nature : une idéologie forte et un ensemble de croyances fortement enracinées dictent nos comportements en formant des axiologies singulières (dualistes et caractéristiques des cultures européennes, dont les origines remontent aux XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles)

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

## Objets de nature et pratiques

- Les objets techniques comme les objets de nature sont des objets hybrides, mobilisables par les vivants (humains, faune et flore)
- Mais dans une culture qui oppose l'artifice à la nature et surtout les humains à la nature dans une vision dualiste, les objets de nature appellent des pratiques spécifiques :
  - Les pratiques liées à la nature



Sources : Bassy A.



Sources : Ab-leung S.



Sources : Toussaint J-Y

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



## Objets de nature et pratiques

- Comme tous les objets, les objets de nature appellent à des pratiques, ils constituent des licences d'action pour des publics
  - Selon James Gibson, ils *affordent* des comportements individuels et collectifs
  - Les publics se conduisent face aux objets de nature selon les règles et les observances propres à la nature et ainsi, ils peuvent contribuer à dérégler leur fonctionnement technique
    - ✓ L'eau claire d'un bassin d'assainissement en eau, vue comme eau propre (claire <=> propre) peut engager à des pratiques liées à l'eau propre (empoissonnement, pêche, baignade, etc.)
    - ✓ L'actualisation des pratiques liées à l'eau propre peuvent compromettre le fonctionnement du bassin (mise en cause de sa sécurité, relargage, etc.)



Sources : Merakchi H.



Sources : Ah-leung S.



Sources : Ah-leung S.

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

Eaux pluviales :  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages



## Conclusion et perspectives

- Des objets de nature en ville : objets hybrides à explorer
  - Sous l'angle de la genèse instrumentale
  - Notamment l'observation de l'instrumentalisation des objets de nature par les publics urbains (en particulier les objets de nature enrôlés dans la gestion des eaux urbaines)
- Pour une meilleure connaissance des enjeux et des controverses soulevées par l'introduction de ces objets en ville et le retour de la « nature » en ville
  - Travaux sur les méthodes d'enquêtes (observation *in situ* des pratiques, entretiens d'explicitation, front de controverses)
- Vers une description des relations ville/nature dans les sociétés urbaines contemporaines
  - Création de données pour une meilleure gestion des objets de nature

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



## Objets de nature et pratiques

- Enfin, les objets de nature en enrôlant des non-humains vivants (faune et flore) conservent une marge d'autonomie dans leur fonctionnement
  - Cette autonomie de fonctionnement est différente des « automatismes » des objets techniques traditionnels
  - Ainsi la régularité de fonctionnement n'est pas toujours obtenue (ou difficile à obtenir)
- Ces situations peuvent être problématiques pour les fabricants :
  - Lesquels ne peuvent pas toujours calibrer et garantir la régularité du fonctionnement de ce type de dispositifs techniques



Sources : Toussaint J-Y



Sources : Toussaint J-Y



Sources : Toussaint J-Y

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012





## Colonisation végétale des bassins d'infiltration et de rétention des eaux pluviales

---

Muriel SAULAIS, ENTPE (LEHNA IPE ) / CERTU



## Colonisation végétale des bassins d'infiltration et de rétention

Muriel SAULAIS<sup>1</sup>, Cécile DELOLME<sup>2</sup>, X. MARSAULT<sup>3</sup>, R. SALERI<sup>3</sup>, D. LEMOINE<sup>2</sup>, Jean-Philippe BEDELL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> : CERTU, ESI-VUER, 9 rue Juliette Récamier, 69456 Lyon cedex 06, muriel.saulais@developpement-durable.gouv.fr

<sup>2</sup> : LEHNA, Université Lyon 1, UMR 5023, ENTPE, Rue Maurice AUDIN, 69518 Vaulx-en-velin cedex, cécile.delolme@entpe.fr, jean-philippe.bedell@entpe.fr

<sup>3</sup> : MAP-ARIA, ENSAL, 3 rue Maurice Audin, BP 170, 69512 Vaulx en Velin Cedex, xavier.marsault@aria.archi.fr, renato.saleri@lyon.archi.fr

Les bassins d'infiltration et de rétention font intégralement partie du paysage urbain et, de part leur fonction même (stockage temporaire des eaux pluviales et/ou infiltration), représentent un enjeu écologique fort. En effet, ces bassins peuvent faire l'objet d'une végétalisation volontaire ou encore abriter une flore sauvage se développant spontanément. La présence de la flore répond à des exigences écologiques particulières [Lemée, 1978] et le caractère bio-indicateur des plantes permet de renseigner sur les paramètres abiotiques du milieu (disponibilité en eau, nutriments, matière organique,...) et indirectement sur le fonctionnement de l'ouvrage [Saulais, 2011].

**L'objet de ces travaux est la caractérisation de la flore de bassins d'infiltration et de rétention d'eaux pluviales en distinguant deux cas :**

- celui d'une végétalisation volontaire : l'attention est alors portée sur l'évolution des espèces dominantes et de sa distribution spatiale depuis la mise en service du bassin.
- celui d'une colonisation naturelle, où il s'agit de déterminer la diversité floristique, la distribution spatiale de la flore et l'interaction entre cette flore et les métaux lourds.

Cette démarche est novatrice dans la mesure où très peu de données floristiques existent pour ce genre d'ouvrage.

### MÉTHODOLOGIE

La première étape a consisté à sélectionner un sous ensemble de bassins de l'agglomération lyonnaise représentatifs de la diversité des ouvrages existants. En décembre 2007, une visite d'une trentaine d'ouvrages végétalisés de l'agglomération a été réalisée. Nous avons sélectionné 6 bassins selon les critères suivants : nature de la végétalisation (volontaire ou naturelle), nature du bassin versant (industriel, résidentiel, agricole,...), surface du bassin (Tableau 2).

L'inventaire floristique, mené de mai à juin 2008, a été réalisé à l'aide de quadrats (carrés en bois de 1m<sup>2</sup> dans lesquels l'ensemble des espèces présentes sont répertoriées) puis la surface est doublée jusqu'au moment où plus aucune nouvelle espèce ne soit recensée. On obtient alors l'aire minimale. Le relevé floristique doit prendre en compte toutes les espèces présentes dans le quadrat.

Dans un deuxième temps, on attribue un indice d'abondance-dominance à chaque espèce présente dans l'aire minimale. L'abondance-dominance repose sur la

surface recouverte par une espèce par rapport à la surface occupée par le peuplement ainsi que sur le nombre d'individus de l'espèce par rapport au nombre total d'individus du peuplement.

Enfin, le traitement des données permet de conduire à l'estimation de la diversité végétale de l'ouvrage, la caractérisation des habitats caractéristiques et des exigences écologiques des espèces dominantes du bassin.

### RÉSULTATS MARQUANTS

- Que ce soit dans le cas d'une végétalisation volontaire ou naturelle, on comptabilise **entre 6 et 59 espèces par bassin**. Cette diversité est comparable à celle que l'on peut retrouver dans des milieux urbains et péri-urbains, tels que des terrains vagues, des friches industrielles. **Les sites présentant le moins de diversité végétale** (Grézieu la Varenne B1, Pithioud, Minerve qui recensent 6 ou 7 espèces), sont des bassins où les **espèces dominantes sont largement connues pour former des peuplements monospécifiques**.
- **Parmi les espèces végétales, on recense principalement des espèces communes et aucune espèce protégée**. On peut ici rappeler d'autres études [Ash, 1991 ; Franceschi, (1996) ; Dana *et al.*, 2001], qui ont déjà souligné que ces milieux abritent majoritairement des espèces communes et finalement très peu d'espèces rares.

**Dans le cas d'une végétalisation volontaire, si la flore n'est pas entretenue, on peut observer une nette évolution des espèces dominantes.** A titre d'exemple, à Minerve, trente espèces végétales ont été introduites dans le bassin en 1999. En 2008, on ne recense plus que huit espèces. Sur ces huit espèces, seulement trois font partie des espèces introduites initialement dans le site. Il y a eu une importante perte de biodiversité. Les espèces dominantes recensées sont principalement des héliophytes (plantes semi-aquatiques) comme *Phragmites australis* (roseau), *Typha latifolia* (massette), *Typha angustifolia*, *Iris pseudacorus* (iris des marais), etc. L'autre fait à retenir repose sur l'évolution marquée de la distribution spatiale de la végétation dans le bassin. En effet, lors de la végétalisation du bassin, l'accent a été porté sur l'aspect paysager avec un zonage géométrique original. En 2008, l'organisation spatiale de la végétation est beaucoup plus simple avec une organisation spatiale de la végétation d'amont en aval le long de l'écoulement des eaux entrantes.

**Dans le cas d'une colonisation naturelle de la végétation, on peut regrouper la flore par type d'habitats caractéristiques des espèces dominantes :**

- Espèces rudérales dominées par des espèces annuelles ou bisannuelles colonisant des friches et milieux perturbés (*Pierre Blanche, Zone la plus sèche de Django Reinhardt*). A titre d'exemples : *Erigeron annuus* (vergerette annuelle), *Daucus carotta* (carotte sauvage), *Senecio inaequidens* (sénéçon du cap), etc.
  - Espèces colonisant des prairies humides piétinées (*Grézieu la Varenne\_Bassin n°2*). A titre d'exemples : *Holcus lanatus* (houlque laineuse), *Potentilla reptans* (potentille rampante), *Ranunculus repens* (bouton d'or).
  - Communautés marécageuses de taille importante des rivières, canaux, lacs dominés par une variété de monocotylédones (*Minerve, Django\_zone la plus humide, Pithioud*). A titre d'exemples : *Phalaris arundinacea* (baldingère), *Phragmites australis* (roseau).
  - Communautés de faible croissance des marécages et étangs dominés par des poacées et des espèces vivaces herbacées (joncs, carex...) (*Django\_zone la plus humide*) A titre d'exemples : *Carex hirta* (laïche hérissée), *Eleocharis palustris* (scirpe des marais).
- **Les espèces dominantes des bassins ont des exigences écologiques relativement proches, hormis pour la disponibilité en eau.** Les espèces dominantes se développent généralement sur des sols relativement riches en nutriments, voire très riches en nutriments. Par contre, en ce qui concerne la disponibilité en eau, on a pu relever aussi bien des espèces dominantes perxérophiles (ayant de faibles exigences en eau) (*Senecio inaequidens*), que des espèces héliophytes (plantes semi-aquatiques) (*Phragmites australis, Phalaris arundinacea,...*). On peut ainsi avoir un aperçu de la large gamme des conditions hydriques que l'on peut retrouver dans des bassins d'assainissement et plus globalement dans un milieu urbain.
- Enfin, suite à une étude des teneurs métalliques accumulées par trois espèces dominantes du bassin Django Reinhardt, il ressort que les plantes dominantes accumulent très peu de métaux présents en forte concentration dans la surface des bassins. La contamination métallique reste donc essentiellement présente dans les sédiments même dans des ouvrages végétalisés.. Il est donc d'avantage nécessaire de s'intéresser à l'effet potentiel de la plante sur le transfert des métaux via l'évolution des caractéristiques physico-chimiques au sein de la surface colonisée par les plantes (rhizosphère).

**QUE RETENIR POUR LES GESTIONNAIRES ?**

S'il est usuellement indiqué qu'une zone humide se caractérise par une végétation hydrophile [Reddy et Delaune, 2008], les zones humides peuvent également être élargies à des milieux tels que des prairies humides, montrant un niveau d'humidité moindre et avec une flore plus diversifiée. En partant de ce constat, nos résultats nous permettent de conclure que les bassins de récupération des eaux pluviales vont représenter un large éventail des typologies de zones humides.

Nous avons vu, dans ces travaux, que dans le cas d'une végétalisation volontaire, la flore et son organisation dans l'ouvrage vont nécessairement évoluer s'il n'y a pas un contrôle de la part de l'homme. Il est difficile de conserver des configurations paysagères trop complexes. Si le maintien de l'effet paysager conçu au départ est souhaité, il est fortement conseillé de contrôler toute arrivée de nouvelles espèces dont certaines peuvent se propager très rapidement, grâce notamment au déploiement de leur rhizome, au détriment de la biodiversité du site. Une tendance actuelle est de s'orienter vers des systèmes à l'état sauvage laissant au site une certaine liberté de fonctionnement. Dans ce cas, la végétation va évoluer naturellement vers les espèces les plus adaptées aux caractéristiques édaphiques.

Le gestionnaire peut également être confronté à la colonisation naturelle de l'ouvrage. Le point important à retenir est la diversité des espèces qui se développent naturellement dans ces ouvrages. Ainsi, des espèces connues pour leurs propriétés phytoépurationnelles (vis à vis de la charge organique) dans les bassins présentant une lame d'eau et une flore sauvage avec notamment des espèces invasives dans les bassins les plus secs. Ces dernières ne sont pour la plupart pas connues pour leurs propriétés épurationnelles mais on ajoutera qu'elles sont souvent situées dans des milieux qui ne présentent pas de dépôt de particules anthropiques. Enfin, l'eau est un paramètre conditionnant la nature de la végétation. Le gestionnaire peut en modifiant le système d'arrivée d'eau, modifier les flux hydriques arrivant dans le bassin. Cette modification aura alors un impact certain sur l'évolution de la flore et de ses propriétés.

## PLAN DE LA PRESENTATION ORALE

1. Contexte
  - 1.1 Végétalisation des bassins d'infiltration et de rétention
  - 1.2 Enjeux et principales questions des gestionnaires
2. Objectif : Vers une caractérisation de la flore
3. Méthodologie de l'inventaire floristique
4. Résultats
  - 4.1. Végétalisation volontaire : évolution naturelle de la flore depuis la mise en service du bassin
  - 4.2. Végétalisation naturelle :
    - Une diversité floristique
    - Une organisation naturelle dans l'ouvrage
    - Interactions entre la flore et la contamination métallique du bassin
5. Discussion et perspectives : Préconisations pour les gestionnaires

## BIBLIOGRAPHIE

ASH H.J. Soils and vegetation in urban areas. **In** : BULLOCK P., GREGORY P.J. Coord. Soils in the Urban Environment. Oxford : Blackwell Scientific publications, 1991, pp. 153-172.

DANA E. D., VIVAS S., MOTA J. F. Urban vegetation of Almería City—a contribution to urban ecology in Spain. Landscape and urban planning, 2001, vol. 59, n° 4, pp. 203-216.

FRANSCESCHI E.A. The ruderal vegetation of Rosario City, Argentina. Landscape and Urban Planning, 1996, vol. 34, n°1, pp. 11-18.

LEMEE, G. Précis d'écologie végétale. Paris : Masson, 1978, 285 p.

REDDY R.K., DELAUNE R.D. Biogeochemistry of wetlands-Science and Applications. Londres : CRC Press, Taylor et Francis Group, 2008, 774 p.

SAULAIS M. (2011). Colonisation végétale des bassins d'infiltration et de rétention. Caractérisation de la flore et évolution des caractéristiques physico-chimiques de l'horizon de surface végétalisé. Thèse INSA Lyon, 245 p.

**Tableau 2 Caractéristiques des bassins**

	Végétalisation naturelle				Végétalisation volontaire	
	Pierre Blanche	Grézieu-la-Varenne (B2)	Pithioud	Django	Minerve	Grézieu-la-varenne (B1)
<b>Date de mise en service</b>	2000	2003	1995	1975, réhabilité en 2001	1999	2003
<b>Nature du bassin</b>	B.R.	B.R.	B.I.	B.I.	B .R.	B.R.
<b>Nature du bassin versant (BV)</b>	Agricole	Résidentiel	Industriel	Industriel	Tertiaire	Résidentiel
<b>Coefficient d'imperméabilisation</b>	0.3	0.3	0.55	0.7	0.8	0.3
<b>Surface du BV (en ha)</b>	42	28	145	175	146	28
<b>Surface du bassin (en m<sup>2</sup>)</b>	2950	630	7791	8112	4333	212
<b>Autre information sur la végétation</b>	Plusieurs espèces	Plusieurs espèces	Plusieurs espèces	Plusieurs espèces dominantes	Plusieurs espèces	Une seule espèce



5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

# Colonisation végétale des bassins d'infiltration et de rétention

SAULAIS M.<sup>1</sup>, DELOLME C.<sup>2</sup>, MARSAULT X.<sup>3</sup>, SALERI R.<sup>3</sup>, LEMOINE D.<sup>2</sup>, BEDELL J.P.<sup>2</sup>  
CERTU<sup>1</sup>/ LEHNA<sup>2</sup> / MAP ARIA<sup>3</sup>

muriel.saulais@developpement-durable.gouv.fr  
cecile.delolme@entpe.fr  
xavier.marsault@aria.archi.fr  
renato.saleri@lyon.archi.fr  
Damien.Lemoine@univ-lyon1.fr  
bedell@entpe.fr

GRANDLYON graie Espace Tête d'Or - LYON/VILLEURBANNE - Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

## Contexte

### Développement de la flore en milieu urbain

Jardins privés, Murs, Toits, Terrains vagues, Jardins publics, Parcs, Friches, Etangs, Forêts, Pelouses, Bassins de traitement des eaux pluviales

Prise en compte progressive de la biodiversité en milieu urbain

Diversité d'habitats en milieu urbain

Contamination des eaux pluviales en métaux lourds, en polluants organiques

Accumulation de particules anthropiques dans les bassins de rétention et d'infiltration

GRAIE - GRAND LYON - Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

## Contexte

### Les enjeux liés à la végétalisation des bassins

Interrogation des gestionnaires: Doit-on contrôler le développement de la végétation ?

Des apports scientifiques: Améliorer les connaissances: - Sur la flore qui se développe dans ces ouvrages - Son évolution temporelle

Diagram: Bassins végétalisés. Questions: Végétation volontaire ou naturelle? Quel devenir des déchets (végétaux + dépôts)? Rôle de la flore? Rôle paysager? Rôle épuratoire? Quel entretien? Peut-on laisser la végétation en place?

Plantes bio-indicatrices de leur milieu de croissance

GRAIE - GRAND LYON - Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

## Objectifs

### Améliorer les connaissances sur la végétation se développant dans les bassins de récupération des eaux pluviales

**Végétalisation volontaire**

Déterminer l'évolution naturelle de la végétation depuis la mise en service du bassin

**Colonisation naturelle**

Caractériser: La diversité végétale, Les habitats caractéristiques et exigences écologiques, La distribution spatiale de la végétation

GRAIE - GRAND LYON - Jeudi 9 février 2012



5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU Méthodologie** Etape 1. Sélection des sites d'étude

**Eaux pluviales :** Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

**Pierre Blanche**



Bassin versant **agricole**  
Végétalisation naturelle  
2950 m<sup>2</sup>

**Django**



Bassin versant **industriel**  
Végétalisation naturelle  
8112 m<sup>2</sup>

**Pithioud**



Bassin versant **industriel**  
Végétalisation naturelle  
7791 m<sup>2</sup>

**Grézieu, B1**



Bassin versant **résidentiel**  
Végétalisation volontaire  
288 m<sup>2</sup>

**Grézieu, B2**



Bassin versant **résidentiel**  
Végétalisation naturelle  
630 m<sup>2</sup>

**Minerve**



Bassin versant **tertiaire**  
Végétalisation volontaire  
4333 m<sup>2</sup>

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU** Etape 2. Détermination des grandes hétérogénéités spatiales de l'ouvrage

**Eaux pluviales :** Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

- ☉ Pour des bassins de petite taille : uniquement visites *in situ*
- ☉ Pour des bassins de grande taille : visites *in situ* + utilisation de photos aériennes

**Utilisation d'un drone**




Ensal, Map Aria  
GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012


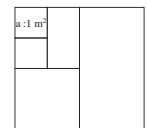
5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU** Etape 3. Inventaire floristique

**Eaux pluviales :** Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

☉ **Détermination des espèces dominantes**

Détermination de l'ensemble des espèces du quadrat (1m<sup>2</sup>) → Doublement de la surface du quadrat jusqu'à l'aire minimale (plus de nouvelle espèce recensée)

Détermination du recouvrement et de l'abondance de chaque espèce

1 2 3 4 5 → Echelle de Braun-Blanquet (10% 25% 50% 75% 100%)

☉ **Détermination des exigences écologiques**

**Substrat pauvre en nutriments**

- Hyperligotrophile
- Oligotrophile
- Mésooligotrophiles
- Mésotrophiles
- Mésoeutrophile
- Eutrophile
- Polytrophile

Substrat riche en nutriments

**Substrat sec**

- Hyperxérophile
- ...
- Xérophiles
- ...
- Hygrophile
- Hydrophile
- Hélophyte
- ...
- Aquatiques profondes

Substrat en eau

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU** Résultats

**Eaux pluviales :** Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

**Evolution de la flore de bassins végétalisés volontairement**

**1. GREZIEU, filtre planté de roseaux**

**En 2003**

Végétalisation du bassin avec une unique espèce *Phragmites australis*

**En 2008**

**1 espèce dominante** (*Phragmites australis*) + 4 espèces éparées

**Pendant 5 ans de fonctionnement**

Entretien du bassin avec faucardage régulier (1 fois par an)

**Contrôle de l'évolution de la végétation pour maintenir le rôle épuratoire du roseau** (v.à.v. de la charge organique)



288 m<sup>2</sup> BV de 20 ha

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Résultats**

**Eaux pluviales : Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages**

**Evolution de la flore de bassins végétalisés volontairement**

2. MINERVE, absence de gestion de la végétation

**En 1999**

Végétalisation du bassin avec un cortège floristique de 90 espèces

D'après le schéma de conception du bassin (Grand Lyon)

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Résultats**

**Eaux pluviales : Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages**

**Evolution de la flore de bassins végétalisés volontairement**

2. MINERVE, absence de gestion de la végétation

**En 2008**

Exclusivement 8 espèces dominantes recensées

Une évolution inéluctable de la végétation en cas d'absence de gestion

Une organisation simplifiée d'amont vers l'aval

**Typha latifolia**  
Eutrophile  
Hélophyte  
Argile, limon

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Résultats**

**Eaux pluviales : Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages**

**Caractérisation de la flore de bassins végétalisés naturellement**

Sur 4 bassins colonisés naturellement : 4 bassins fonctionnant différemment

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**OTHU**

**Flore de bassins colonisés naturellement**

1 bassin de faible biodiversité

**BIODIVERSITE** (arrow from left to right)

Biodiversité forte

**PITHILOUD**

Map aria, Ensai

Exclusivement 6 espèces dominantes recensées

**Typha latifolia**  
Eutrophile  
Hélophyte  
Argile, limon

Organisation en patches

Exclusivement des espèces caractéristiques de milieux humides (prairies humides, roselières, marais,...)

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU **Flore de bassins colonisés naturellement** **Eaux pluviales : Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages**

1 bassin de biodiversité moyenne → Biodiversité forte

**GREZIEU B2**  
✓ 18 espèces

BV résidentiel  
S = 630 m<sup>2</sup> BV de 20 ha

Milieu subissant des perturbations mécaniques ou des inondations périodiques freinant l'installation d'un tapis herbacé continu

**Holcus lanatus**  
mésotrophile  
mésohydrique  
Limon, sable  
Prairies de fauche de basses altitudes

**Ranunculus repens**  
entre mésotrophile et eutrophile  
hygrophile  
Argile, limon  
Prairies humides piétinées

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU **Flore de bassins colonisés naturellement** **Eaux pluviales : Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages**

1 bassin de forte biodiversité

**PIERRE BLANCHE**  
✓ 57 espèces  
✓ 27 familles (astéracées, poacées...)

**Senecio inaequidens**  
Espèce invasive  
perxérophile  
mésotrophile  
Sable  
Friches, décombres

Espèces rudérales, qui affectionnent les espaces, perturbés ou instables

**Espèce disséminée** / **Agrégat**

Distribution de la végétation : Organisation dite «éparse»

**Erigeron annuus** **Poa annua**  
**Daucus carota**  
**Papaver rhoeas**  
**Urtica urens** **Avena sativa**

BV de 42 ha BV agricole  
S = 2950 m<sup>2</sup>

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU **Flore de bassins colonisés naturellement** **Eaux pluviales : Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages**

1 bassin de forte biodiversité

**DJANGO REINHARDT**  
un bassin réunissant une diversité de caractéristiques physico-chimiques

✓ bassin d'environ 8000 m<sup>2</sup>  
✓ BV de 175 ha

Mélange floristique  
Artemisia vulgaris  
Phalaris arundinacea  
Polygonum mite  
Rumex crispus

**Eleocharis palustris**  
**Schoenoplectus tabernaemontani**  
**Typha latifolia**

Zone humide (Arrivée d'eau)  
Zone sèche

✓ 54 espèces

**Phalaris arundinacea**  
Mélange floristique  
**Senecio inaequidens**  
**Erigeron annuus**

**Rumex crispus**  
Sol sans couvert végétal, caillouteux, sec

MAP ARIA LEHNA (M.Saulais)

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU **Les plantes contribuent elles à la diminution de la charge métallique dans les dépôts ?** **Eaux pluviales : Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages**

**Bilan massique en zinc**

Arrivée d'eau

**Typha latifolia**

Parties aériennes	Parties souterraines
0,1%	1,3%
106 mg/m <sup>2</sup>	1041 mg/m <sup>2</sup>

Horizon de surface  
98,6%  
82019 mg/m<sup>2</sup>

Pollution métallique concentrée dans l'horizon de surface

Nécessité de se concentrer sur le rôle indirect joué par les plantes : impact de la végétation sur les caractéristiques physico-chimiques et donc sur la mobilité des métaux

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU **Diapo-synthèse : Que retenir pour les gestionnaires ?**

**Eaux pluviales : Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages**

**Des éléments de réponse scientifiques à...**

**... des préconisations pour les gestionnaires**

*Végétalisation volontaire*

- Effet paysager difficile à garantir
- Adaptation de la flore aux conditions édaphiques
- Evolution vers une flore connue pour ses propriétés épuratoires

*Végétalisation naturelle*

- La végétation colonisant un ouvrage s'adapte à son fonctionnement et peut rapidement recouvrir l'ensemble du bassin
- L'eau : paramètre contrôlant la nature des espèces et leur distribution spatiale

*Rôle de la végétation*

- Pollution métallique concentrée au niveau de l'horizon de surface

**Choix du gestionnaire au départ :**

- Si l'effet paysager est souhaité, gestion rigoureuse nécessaire
- Sinon, évolution vers un vivier de flore sauvage adaptée au bassin

**Rôle de la végétation principalement sur les caractéristiques physico-chimiques**

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

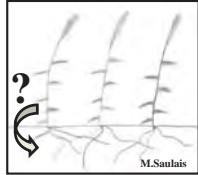
5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU **Quelles perspectives ?**

**Eaux pluviales : Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages**

Etude de la dynamique de succession végétale sur plusieurs années

Etude de l'évolution saisonnière et spatiale en présence de végétation des caractéristiques physico-chimiques des dépôts et de la mobilité métallique (liée à la matière organique,...)



M.Saulais

Caractérisation de l'apport en matière organique d'origine végétale dans l'horizon de surface

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU

**Eaux pluviales : Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages**

Merci de votre attention

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



## **Rôle des végétaux sur le colmatage des ouvrages d'assainissement**

---

Sylvie BARRAUD, Carolina GONZALEZ-MERCHAN,  
INSA de Lyon (LGCIE)



5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

**INSA**  
LYON

## Colmatage des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales

S. Barraud – C. Gonzalez-Merchan

**LGCIE**  
LABORATOIRE DE GÉNIE CIVIL  
& INGÉNIERIE ENVIRONNEMENTALE

GRANDLYON **graie** Espace Tête d'Or – LYON/VILLEURBANNE – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU


OTHU

## Système étudié

**Avantages**

- Réduction des débits de pointe et des volumes d'eau aux exutoires
- Contribution à la recharge des nappes
- Possibilités d'urbanisation des zones éloignées des exutoires
- Possibilités de plurifonctionnalité
- Limitation des charges polluantes

→ Colmatage



GRAIE – GRA

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU

## Objectif originel

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

– Comprendre l'évolution dans le temps et l'espace à :

- ▶ A - une échelle globale (bassin)
- ▶ B - une échelle semi globale (Paroi & fond)
- ▶ C - une échelle locale (zones du fond)

... Sur un système instrumenté finement

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU

## A- Echelle globale

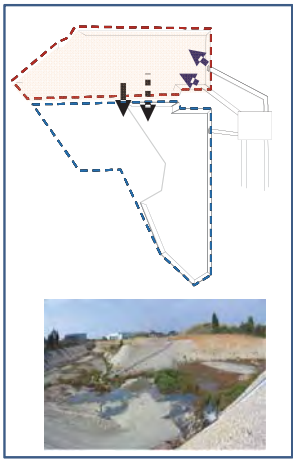
**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

### Principe & méthode (1/5)

- A1 - Site réel
- A2 - Définir un modèle de représentation de l'infiltration
- A3- Identifier indicateur(s) de suivi
- A4 - Moyens métrologiques pour l'(es) estimer

↓

Analyser l'évolution au cours du temps



GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012




5 E JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

## OTHU A- Echelle globale

### Principe & méthode (2/5)

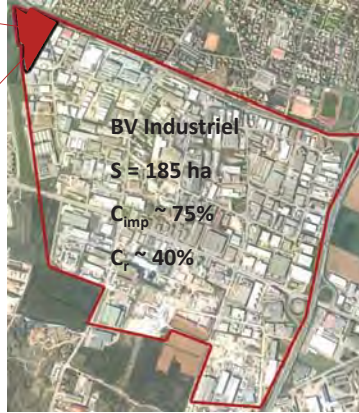
#### A1 - Site réel



réention

infiltration

61000 m<sup>3</sup>  
~ 8 000m<sup>2</sup>



**BV Industriel**  
S = 185 ha  
C<sub>imp</sub> ~ 75%  
C<sub>r</sub> ~ 40%

Django Reinhardt (Chassieu)

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5 E JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

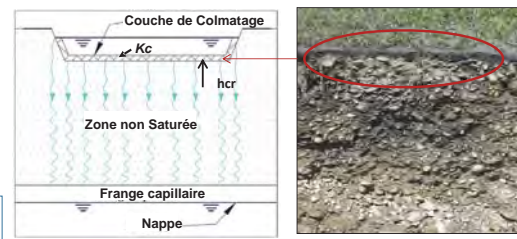
## OTHU A- Echelle globale

### Principe & méthode (3/5)

#### A2 - Définir un modèle de représentation de l'infiltration

**Hypothèses :**

- conductivité hydraulique de la couche colmatée faible
- sol sous-jacent non saturé (flux considéré comme n'étant dû qu'à la gravité, gradient hydraulique unitaire)
- hauteur de pression interstitielle  $h_{cr}$  du sol constante (vérifié – calages antérieurs)



Modèle de Bouwer

$$Q_{Bouwer} = \frac{h - h_{cr}}{R} \cdot S_{inf}(h)$$

- Représentatif
- Assez transposable (Cf implantation des villes)

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5 E JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

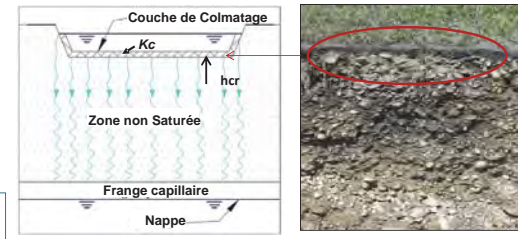
## OTHU A- Echelle globale

### Principe & méthode (4/5)

#### A3- Identifier le ou les indicateur(s) de suivi

**Hypothèses :**

- conductivité hydraulique de la couche colmatée faible
- sol sous-jacent non saturé (flux considéré comme n'étant dû qu'à la gravité, gradient hydraulique unitaire)
- hauteur de pression interstitielle  $h_{cr}$  du sol constante (vérifié – calages antérieurs)



Modèle de Bouwer

$$Q_{Bouwer} = \frac{h - h_{cr}}{R} \cdot S_{inf}(h)$$

- Représentatif
- Assez transposable (Cf implantation des villes)

Indicateur de colmatage → Comparaison à 20°C, calage sur la décrue, évènements importants

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5 E JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

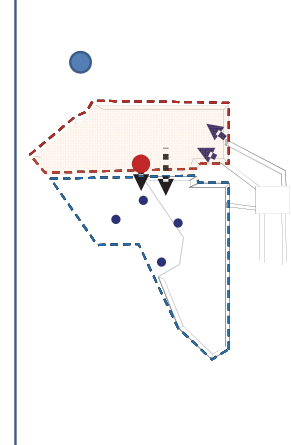
**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

## OTHU A- Echelle globale

### Principe & méthode (5/5)

#### A4 - Moyens métrologiques pour estimer l'indicateur

Δt=2 min



**En entrée**

- Débits
- Températures d'eau
- Turbidités (concentrations en MES & DCO)

**Dans le bassin**

- Hauteurs d'eau dans le bassin (x4)

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU **B- Echelle semi globale**

**Principe & méthode**

idem mais calage

- résistance du fond ( $R_f$ ) et
- résistance de parois ( $R_p$ )

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU **Résultats (échelle du bassin)**

Evolution de la résistance hydraulique au cours du temps

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU **Résultats (échelle du bassin)**

Végétalisation spontanée du bassin

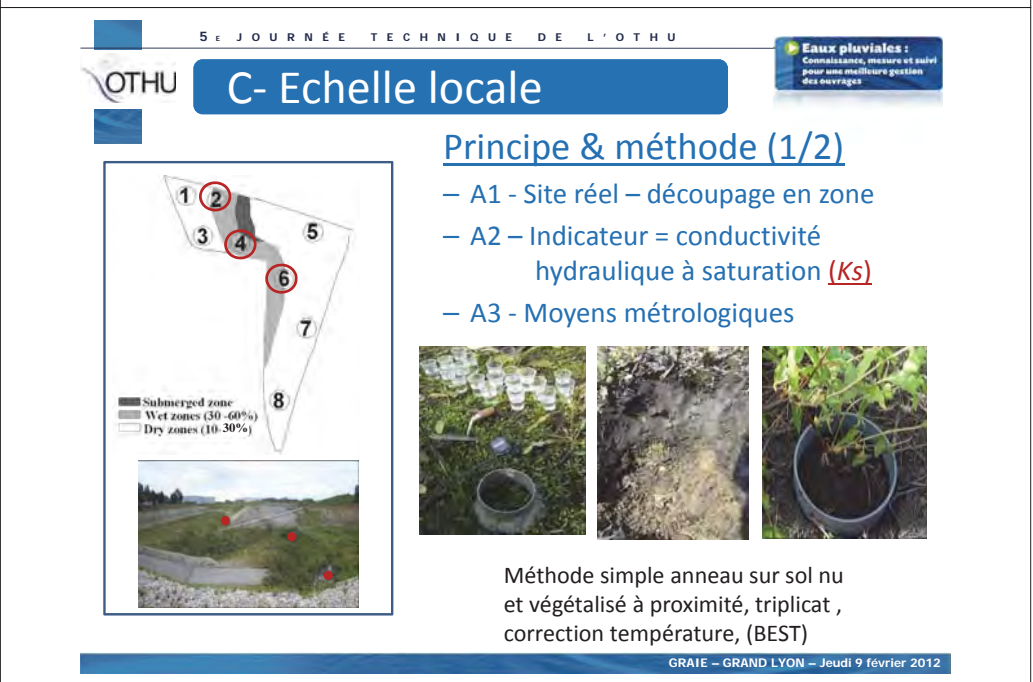
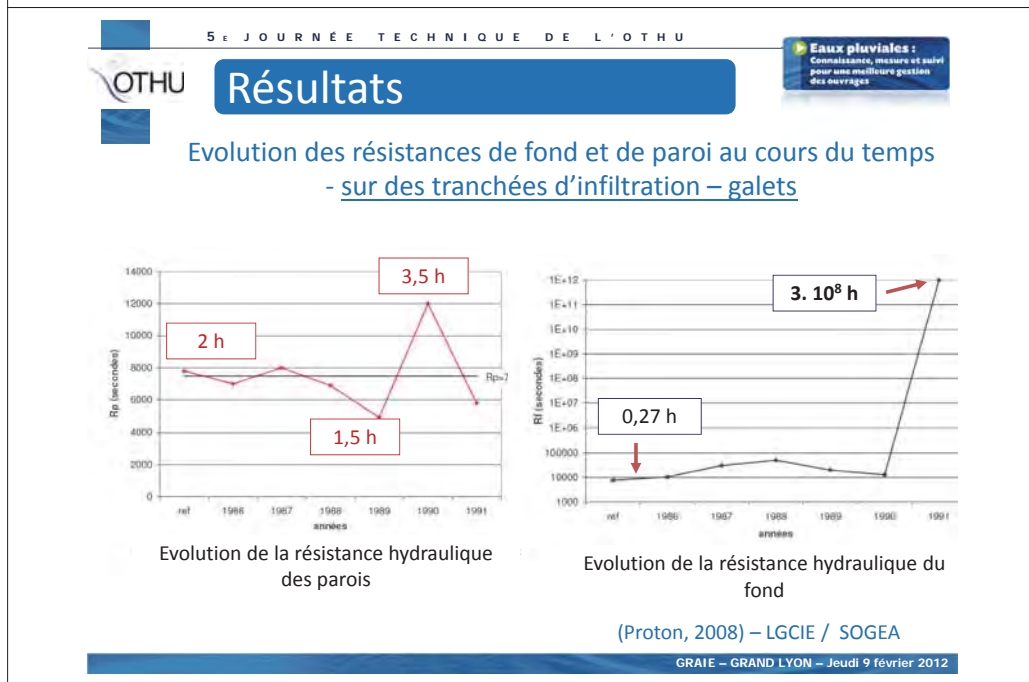
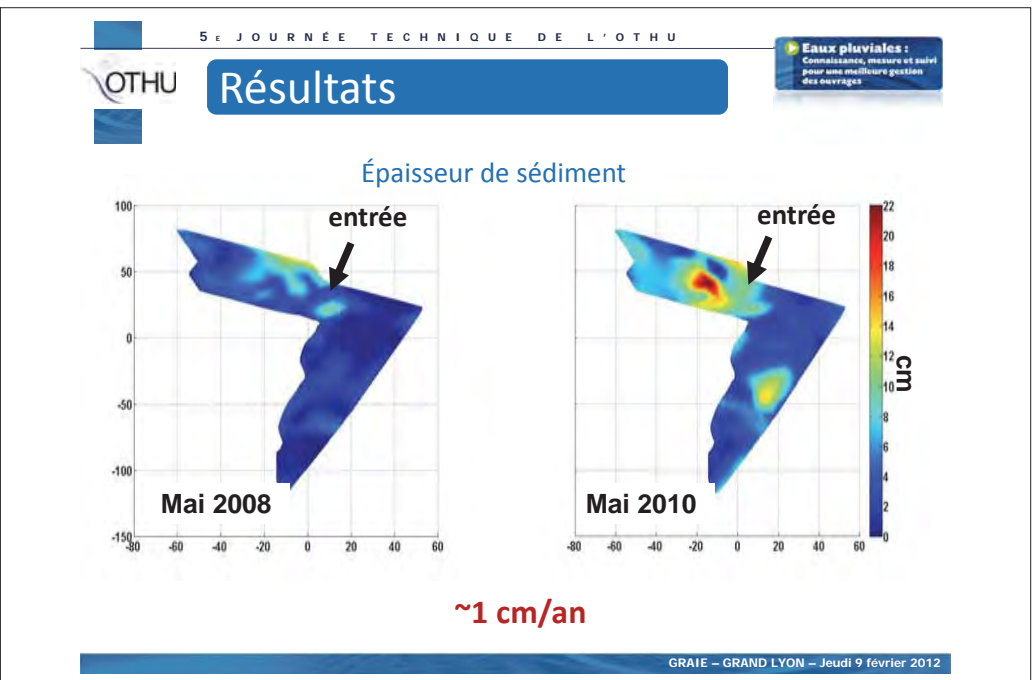
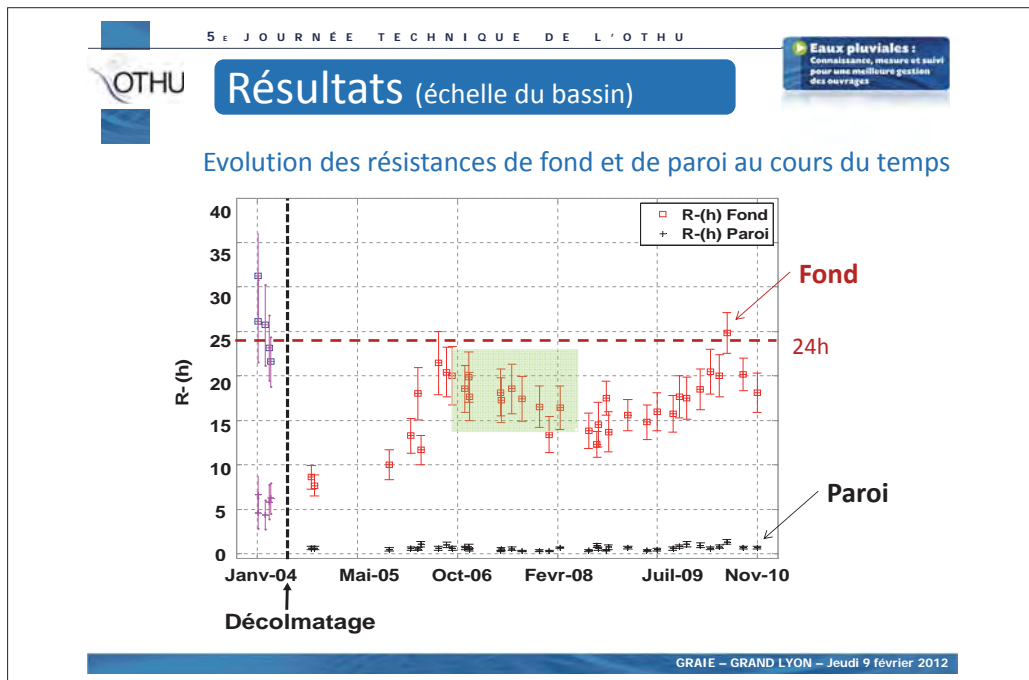
GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU **Résultats**

Répartition statistique annuelle de la résistance hydraulique

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012





5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU **C- Echelle locale**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

Végétaux étudiés

- Rumex Crispus
- Polygonum mite
- Phalaris Arundinacea

Phalaris Arundinacea

Polygonum Mite

Rumex Crispus

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU **Résultats**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

Comparaison des conductivités hydrauliques à saturation  
Tout type confondu de végétation

Ks (m/s)  $\times 10^{-5}$

Surfaces nues      Surfaces végétalisées

Rumex Crispus

Polygonum mite

Phalaris Arundinacea

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU **Résultats**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

Comparaison des conductivités hydrauliques à saturation  
par type de végétation

Ks (m/s)  $\times 10^{-5}$

Zone 6      Zone 4      Zone 2

Phalaris Arundinacea      Polygonum Mite      Rumex Crispus

Zone végétalisée      Zone végétalisée      Zone végétalisée

Rumex Crispus

Polygonum mite

Phalaris Arundinacea

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU **Résultats**

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

Ks (m/s)  $\times 10^{-4}$

Phalaris Arundinacea      Rumex Crispus

croissance      repos      Reproduct

Jun-10      Août-10      Sep-10      Nov-10      Janv-11      Févr-11      Avr-11      Juin-11

□ Ks Surface nue  
○ Ks Surface végétalisée

Phalaris Arundinacea

Rumex Crispus

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

## Principaux enseignements

- Colmatage a lieu principalement au fond
  - ▶ Attention dans les procédures de conception !
  - ▶ Curage du fond régénère correctement la perméabilité
- Quand le fond se colmate les berges « prennent le relai »
- Globalement la végétation ralentit le colmatage
- Performances dépendantes du type de végétal (morphologie, hauteur, système racinaire, ...)
  - ▶ Action mécanique des racines
  - ▶ Action mécanique de la partie aérienne (e.g. vent)
  - ▶ Ombrage des surfaces (lutte contre développement biofilm)
  - ▶ Parce qu'on ne désherbe pas ! ...
- Choix des végétaux ? ... et si ce n'était pas le problème ?

GRANDLYON graie Espace Tête d'Or – LYON/VILLEURBANNE – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages

## Principaux enseignements

### Rappel

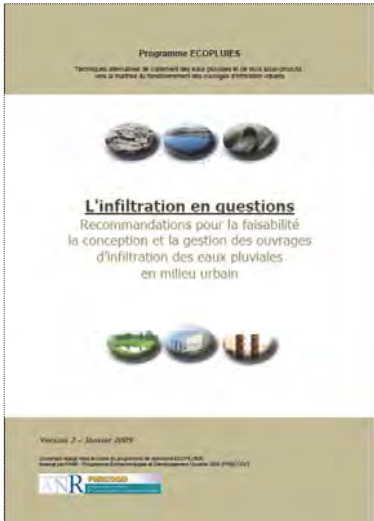
- Sur les petits systèmes  
le colmatage est souvent plus rapide
  - ▶ Pas de prétraitement
  - ▶ Pas de robustesse mais plus facile à gérer
  - ▶  $S_{inf} / S_{active}$  trop faible  
 > 25 % Urbonas & Stahre (1993) - > 20 % VSA (2002) - > 1% Le Coustumer (2008)
- Sur les systèmes centralisés
  - ▶ bien concevoir les systèmes de pré-traitement amont (temps de séjour suffisant, court-circuit à éviter, ...)
  - ▶ éviter l'apport permanent d'eau de temps sec (développement de biofilm)
  - ▶ protéger le fond des bassins d'infiltration (graviers, végétation, ...)
  - ▶ Attention aux opérations de réhabilitation !

GRANDLYON graie Espace Tête d'Or – LYON/VILLEURBANNE – Jeudi 9 février 2012

5<sup>e</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU

**Eaux pluviales :**  
Connaissance, mesure et suivi  
pour une meilleure gestion  
des ouvrages



GRANDLYON graie Espace Tête d'Or – LYON/VILLEURBANNE – Jeudi 9 février 2012



## **Toitures végétalisées : quelques éléments sur la recherche en cours**

---

Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI,  
INSA de Lyon (LGCIE)

## Toitures végétalisées : quelques éléments sur la recherche en cours

Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI, INSA LGCIE

Les programmes et actions de recherche de l'OTHU, jusqu'à très récemment, ont porté sur les réseaux unitaires et séparatifs pluviaux, sur les grands ouvrages publics de type bassins de retenue-décantation-infiltration, et sur les impacts sur les cours d'eau et les nappes, à l'échelle des bassins versants. Les nombreux ouvrages de gestion des eaux pluviales à l'échelle de la parcelle ou du bâtiment, tels que les noues, tranchées ou puits d'infiltration, chaussées réservoirs ou poreuses, toitures végétalisées, etc. n'avaient pas été abordés.

Depuis 2010, le LGCIE de l'INSA Lyon a commencé des recherches sur les toitures végétalisées. Ces recherches portent sur deux volets : suivi expérimental et modélisation.

**LE PREMIER VOLET**, au sein du projet national GICC ECCLAIRA<sup>1</sup> coordonné par RAEE (Rhônalpénergie-Environnement), porte sur le suivi hydrologique et hydraulique puis la modélisation d'une toiture végétalisée du Centre de Congrès de Lyon (Figure 1). La toiture est de type classique avec un substrat planté de sédums. Elle a une surface de totale de 338 m<sup>2</sup>, dont 283 m<sup>2</sup> sont végétalisés. Elle est munie de trois conduites d'évacuation en cas de débordement. Le dispositif expérimental, en cours d'installation en février 2012, comportera les capteurs suivants : pluviographe à augets, anémomètre, capteurs d'humidité dans le substrat, débitmètres électromagnétiques installés sur les trois conduites. Le suivi portera sur une durée de 12 mois. Les données obtenues permettront de connaître le fonctionnement hydraulique de la toiture et de caler un modèle de son fonctionnement. Ce modèle sera ensuite utilisé pour simuler d'autres conditions de fonctionnement : régimes pluviométriques et d'ETP, changement des caractéristiques du substrat, etc.

**LA DEUXIÈME ACTION** a été développée avec la société Le Prieuré - Végétal-iD qui fabrique des toitures végétalisées. L'objectif était d'élaborer un modèle de fonctionnement d'une toiture végétalisée complexe avec substrat et deux niveaux de stockage sous-jacents, pour une modélisation de longue durée (échelles annuelle à pluriannuelle) avec un pas de temps de calcul court de 1 minute pour représenter la dynamique de fonctionnement de la toiture.

Une première version du modèle a été établie en 2011, qui tient compte de plusieurs paramètres : caractéristiques du substrat, ETP journalière discrétisée au pas de temps de la minute, fonctions de stockage et de transferts entre les différents compartiments.

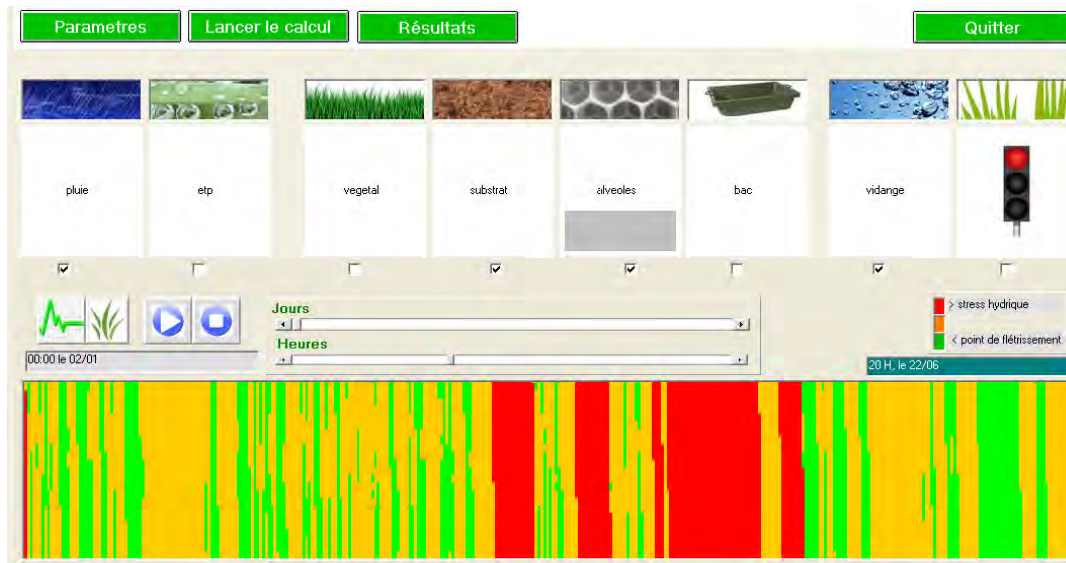
Un exemple de résultat est fourni en Figures 2 et 3 pour une chronique annuelle (pluviométrie et ETP mesurées à Lyon).



Figure 1, a : vue générale des toitures végétalisées (source Google Earth), b: vues de la toiture instrumentée et des conduites d'évacuation (photos N. Bergaud, RAEE).

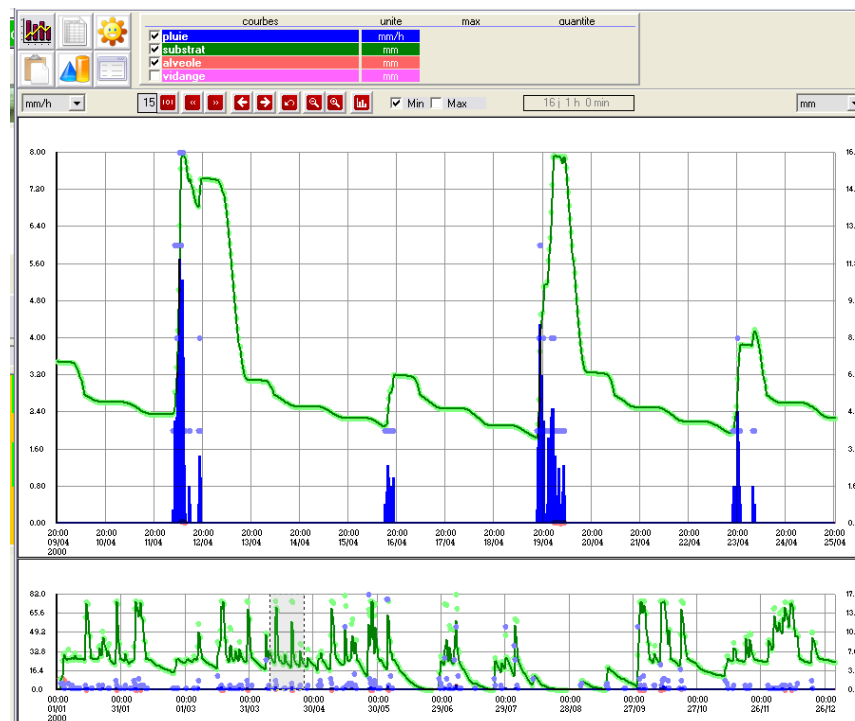
<sup>1</sup> ECCLAIRA regroupe les partenaires suivants : RAEE (coordinateur), Grand Lyon, Ville de Lyon, Canevaflor, Université de Savoie, Université Joseph Fourier, INSA Lyon et Conseil général de la Drôme. Il bénéficie du soutien financier du MEDDTL dans le cadre du programme GICC et du Conseil régional Rhône-Alpes.





La Figure 2 représente l'ensemble de la chronique annuelle : l'axe des abscisses indique les 365 jours de l'année, l'axe des ordonnées va de 00h:00 à 24h:00. Les pixels verts, jaune et rouge correspondent respectivement aux périodes où le couvert végétal est soumis aux conditions suivantes : bon état, stress hydrique, sécheresse, évaluées à partir de la capacité au champ et du point de flétrissement.

Figure 2 : graphe synthétique de l'état du couvert végétal sur une année complète



La Figure 3 illustre la dynamique de fonctionnement de la toiture, avec les variables suivantes : pluie, stock dans le substrat et dans le premier bac. Ce modèle doit maintenant être validé à partir de séries de données expérimentales complémentaires, notamment celles qui seront obtenues dans le projet ECCLAIRA. Des variantes seront testées afin d'améliorer la modélisation de certains processus de transfert. Le modèle permettra de simuler des scénarios sur de longues durées (chroniques de 10 ans) incluant des conditions climatiques et des dimensionnements variés

Figure 3 : fonctionnement dynamique de la toiture (zoom du 10 au 25 avril en haut, année complète en bas)



## REFERENCES

### Publications OTHU à destination des acteurs opérationnels

[HTTP://WWW.OTHU.ORG](http://www.othu.org) – PAGE "PUBLICATIONS"

#### **Les FICHES TECHNIQUES de l'OTHU**

Documents de synthèse par action de recherche finalisée de l'OTHU destinés aux gestionnaires de système d'assainissement et éventuellement aux gestionnaires de milieux naturels. Ces documents sont publiés régulièrement et sont réalisés en collaboration avec le CETE de l'Est et le CERTU.

Actuellement 26 fiches techniques de l'OTHU sont disponibles sur le site internet de l'observatoire.

#### **GUIDE**

#### **L'infiltration en questions: recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain - Programme ECOPLUIES - janvier 2009 - 62p.**

Ce document est bâti à partir des réflexions opérationnelles recueillies, des résultats de recherche obtenus et des enseignements acquis dans le cadre du programme de recherche ECOPLUIES financé par l'ANR - Programme Écotecnologies et Développement Durable 2005 (PRECODD) (Programme de recherche 2005/2008 basé sur les données de l'OTHU)

#### **Autres références bibliographiques en lien avec la thématique**

- **Guide pour la prise en compte des eaux pluviales dans les documents de planification et d'urbanisme** - Groupe de travail eaux pluviales, Février 2009 - 79p – pdf en téléchargement sur le site du GRAIE
- **La gestion des eaux pluviales : Stratégie et solutions techniques** - Plaquette de sensibilisation, Région Rhône-Alpes, 2006, 32 pages - pdf 3,8 Mo en téléchargement sur le site du GRAIE
- **Guides techniques du Grand Lyon**  
<http://www.grandlyon.com/Gestion-des-eaux-pluviales.3559.0.html>  
 Guide pratique aménagement et eaux pluviales sur le territoire du Grand Lyon (octobre 2008) - pdf - 6 325 Ko  
 Guide de préconisations pour les toitures végétalisées (janvier 2012) - pdf - 699 Ko

### Sites internet des partenaires

- Agence de l'eau Rhône Méditerranée & Corse <http://www.eaurmc.fr>
- Certu <http://www.certu.fr/>
- Grand Lyon <http://www.grandlyon.com/>
- Graie <http://www.graie.org>
- Ministère de l'Écologie, du développement durable, des transports et du logement <http://www.developpement-durable.gouv.fr>
- Région Rhône Alpes <http://www.rhonealpes.fr/>

### Autres sites Internet

- <http://www.adopta.fr/site/>  
ADOPTA (Association DOuaisienne Pour la promotion des Techniques Alternatives)
- <http://www.areas.asso.fr>  
AREAS (Association Régionale pour l'Etude et l'Amélioration des Sols - prévention des risques associés au ruissellement, Haute-Normandie)
- <http://www.hurrbis.org>  
Site de HURRBIS / URBIS  
Réseau des observatoires français en hydrologie urbaine
- <http://leesu.univ-paris-est.fr/opur/>  
OPUR - Observatoire des Polluants URbains en Ile-de-France – Paris
- [http://www.irstv.fr/index.php?option=com\\_content&view=category&id=16%3Aonevu&layout=blog&Itemid=40&lang=fr](http://www.irstv.fr/index.php?option=com_content&view=category&id=16%3Aonevu&layout=blog&Itemid=40&lang=fr)  
ONEVU - Observatoire nantais des environnements urbains
- <http://imagine.universite-lyon.fr/labex/imu-intelligences-des-mondes-urbains-160670.kjsp>  
Laboratoire d'excellence IMU - Intelligences des Mondes Urbains

