



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

graie

GRANDLYON
communauté urbaine



OBSERVATOIRE
DE TERRAIN
EN HYDROLOGIE
URBAINE



Rhône-Alpes^{Région}

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

| | | | |
|--|----|--|----|
| Programme | 3 | | |
| Avant propos | 4 | | |
| L'OTHU –Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine | 5 | | |
| Supports d'interventions | | | |
| 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&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 | Références | 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

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



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^E 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^E 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^E 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^E 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

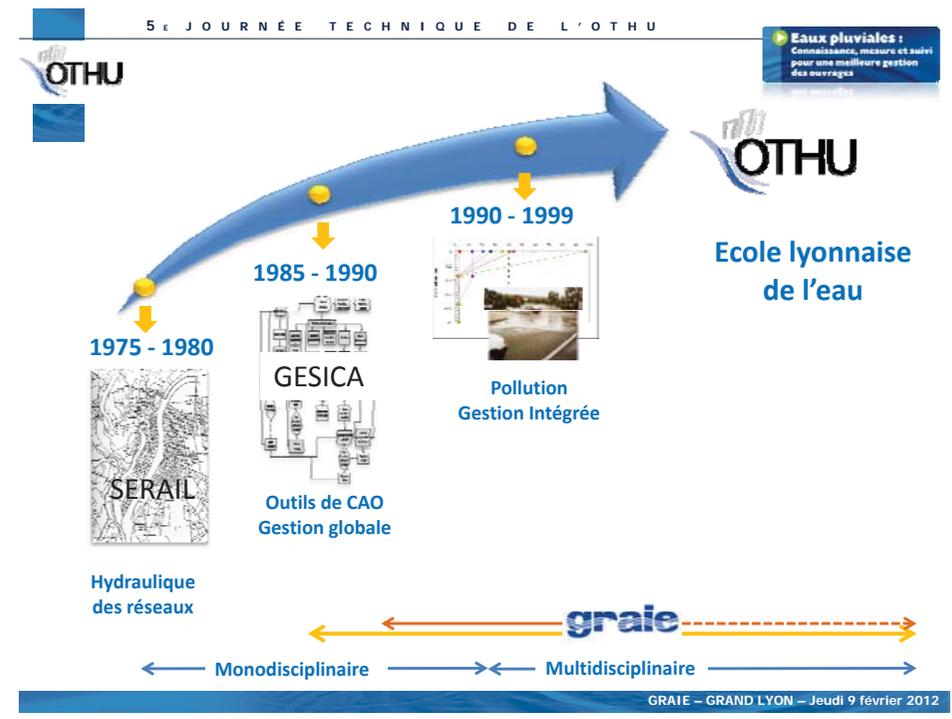
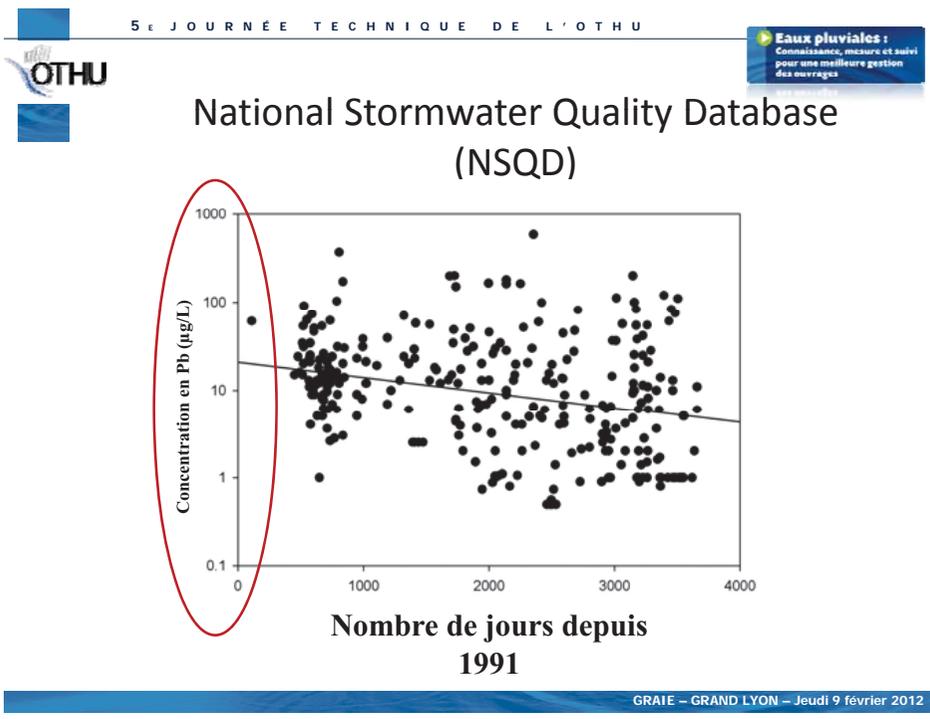
MES en sortie (mg/L)

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

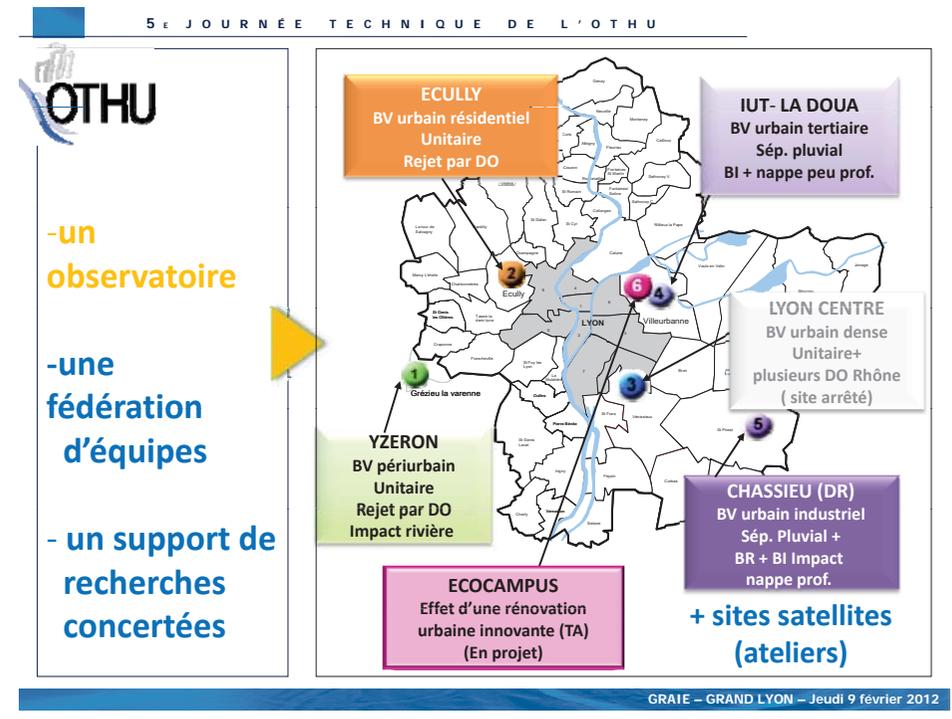
170 systèmes 1500 évènements

(Strecker et al, 2004)

GRATE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



- 5^E 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^E 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^E 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^E 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>

GRAIE – GRAND LYON

5^E 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^E 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^E JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU

La 5^e Journée thématique de l'OTHU

- Structure -

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



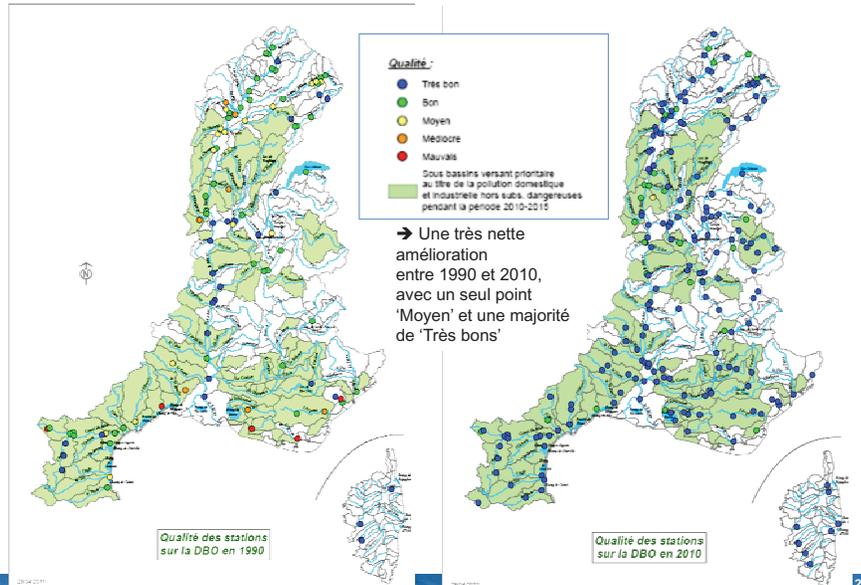
Pourquoi l'agence s'intéresse aux RUTP

Le bon état des eaux en 2015

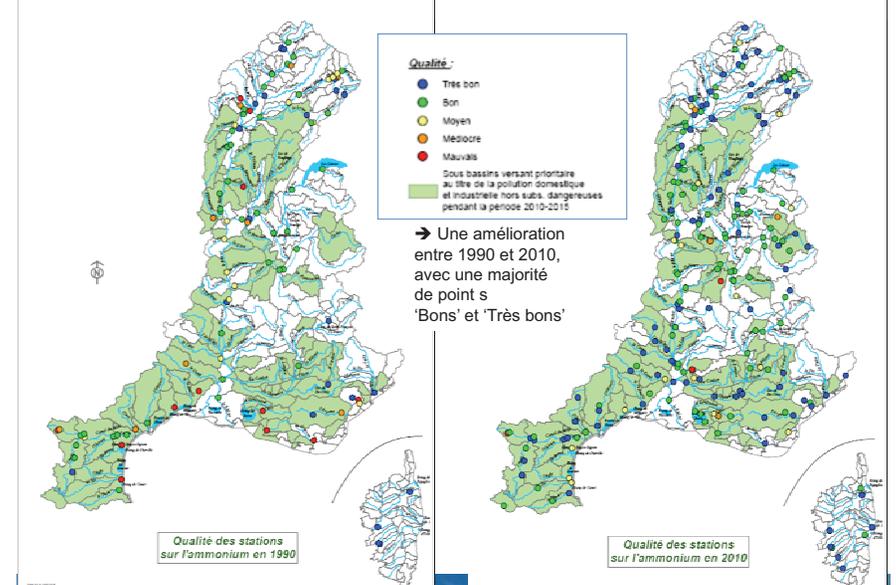
- ▶ Une nette amélioration sur certains paramètres grâce à la mise en conformité des stations de traitement des eaux usées par rapport à la Directive ERU
- ▶ Mais encore des efforts à faire sur certains milieux et certains contaminants

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

Les résultats sur le milieu – la DBO5



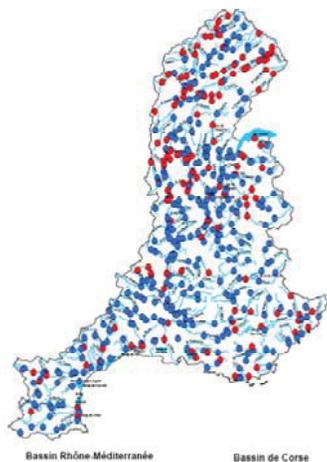
Les résultats sur le milieu – l'ammonium



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 | 22 stations |
| 70% Bon état 30% non atteint | 86% Bon état 14% non atteint |
| Etat Chimique – CO toxiques | |
| 290 stations | 5 stations |
| 57% Bon état 43% non atteint | 80% Bon état 20% non atteint |

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5^E 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^{ème} 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^E 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^{ème} 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^E 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.

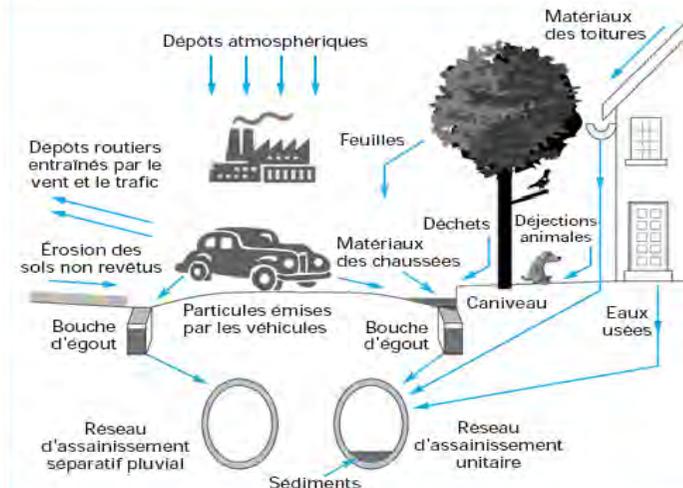


Figure 1 : Origines des différents polluants présents dans les RUTP

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 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 _{dissous} | LQ _{particulaire} |
|---------------------|---------------------|--|--|--------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| | | Dissous | Particulaire | | | |
| Métaux | ESPRIT ¹ | Acidification avec HNO ₃ | 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 ² | Acidification avec HNO ₃ | - | ICP-OES | Cd : 0,5 $\mu\text{g/L}$ | Cd : 0,1 $\mu\text{g/g}$ pour 500 mg |
| Mercur | ESPRIT ¹ | Acidification avec HCl | Minéralisation à eau régale dans un bloc chauffant | AFS | 0,5 ng/L | 0,5 ng/g |
| HAP | ESPRIT ¹ | Sur phase solide (cartouche StrataX) | En phase solide (ASE) | LC-FLD | Anthracène : 1 ng/L | Anthracène : 125 ng/g pour 100 mg |
| | INOGEV ² | Sur phase solide (SPE) | Type QuEChERS | GC-Tof | Anthracène : 4,5 ng/L | Anthracène : 36 ng/g pour 50 mg |
| Pesticides | ESPRIT ¹ | 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 ² | 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 - |
| Alkylphénols | ESPRIT ¹ | Sur phase solide (cartouche StrataX) | En phase solide (ASE) | LC-FLD | Octylphénol : 10 ng/L | Octylphénol : 31,2 ng/g pour 100 mg |
| | INOGEV ² | Sur phase solide (cartouche Oasis HLB) | Micro-onde | UPLC-MS/MS | Octylphénol : 12 ng/L | Octylphénol : 30 ng/g pour 100 mg |
| PBDE | INOGEV ² | Sur phase solide (cartouche C18) | Micro-onde | GC-MS/MS | BDE28 : 0,0625 ng/L | BDE28 : 1,25 ng/g pour 100 mg |

¹ : dans le cadre de l'OTHU, ² : 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 ng.l^{-1} pour Σ 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 ng.l^{-1} (premier et dernier déciles) avec une concentration médiane à 272 ng.l^{-1} (Σ 7 PCB), les concentrations dans les RUTP n'excèdent pas 30 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)fluo et B(k)fluo) 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.

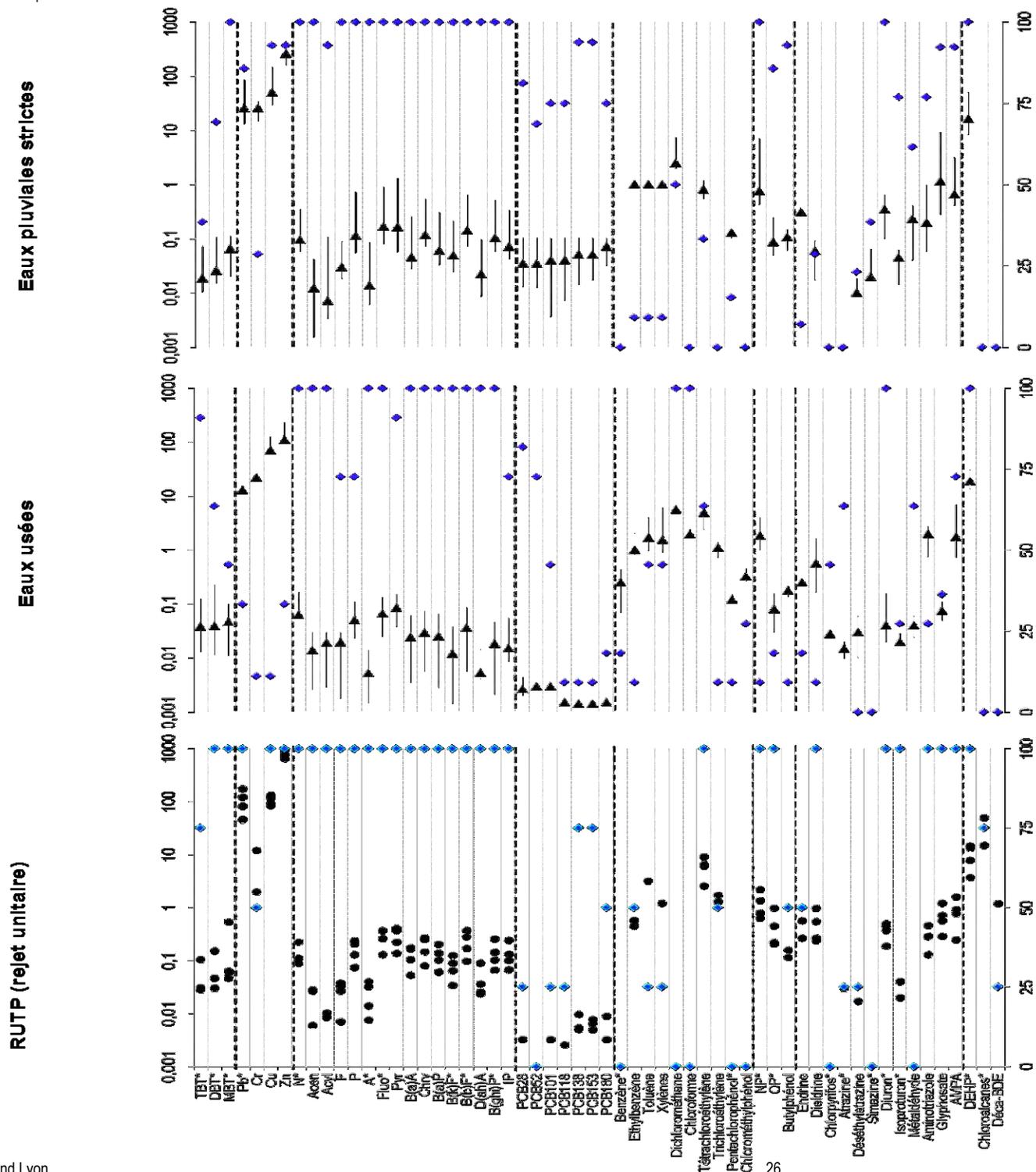


Figure 2 : Concentrations totales ($\mu\text{g.l}^{-1}$) pour les eaux pluviales en réseau séparatif (n=17), les eaux usées (n=11) et les RUTP (n=4), et fréquence de quantification (%).

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
- 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^e 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

BECOUCHE-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^e 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^e 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^e 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^e 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

▶ 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^e 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^e 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^e 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 _{Dissoute} |
|--------------|----------------------|---|
| Métaux | ICP-MS ICP-OES | Pb 0,05 – 2 µg.L ⁻¹ |
| HAP | LC-FLD GC-Tof | Fluoranthène 0,9 – 2 ng.L ⁻¹ |
| Pesticides | LC-MS/MS GC-Tof | Diuron 3 – 6 ng.L ⁻¹ |
| Alkylphénols | LC-FLD UPLC-MS/MS | Octylphénol 10 – 12 ng.L ⁻¹ |
| PBDE | GC-MS/MS | BDE28 0,0625 ng.L ⁻¹ |

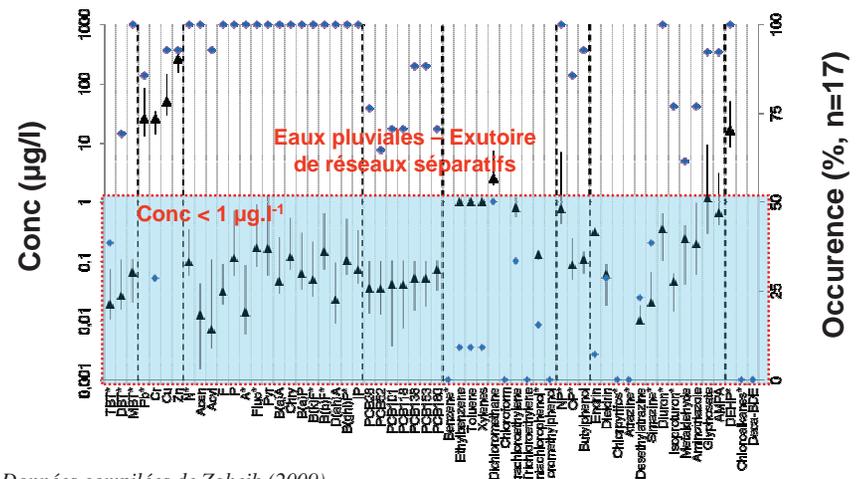
Echantillonnage et méthodes analytiques

– Méthodes analytiques

▶ Phase particulaire

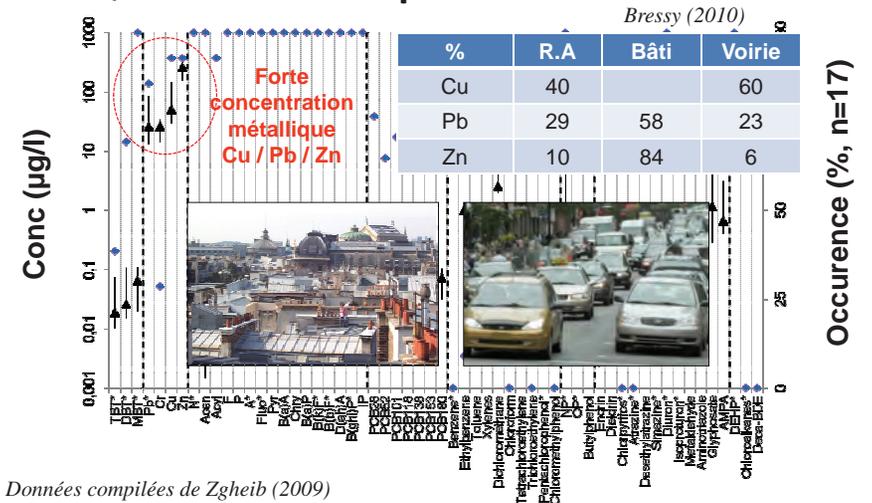
| Famille | Dosage | LQ _{particulaire} | Masse |
|--------------|----------------------|--|---------------|
| Métaux | ICP-MS ICP-OES | Pb 0,1 – 1 µg.g ⁻¹ | 75 - 500 mg |
| HAP | LC-FLD GC-tof | Fluoranthène 0,007 – 0,06 µg.g ⁻¹ | 50 – 100 mg |
| Pesticides | LC-FLD GC-MS/MS | Diuron 125 – 311 ng.g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

Qualité des eaux pluviales – ex d'OPUR

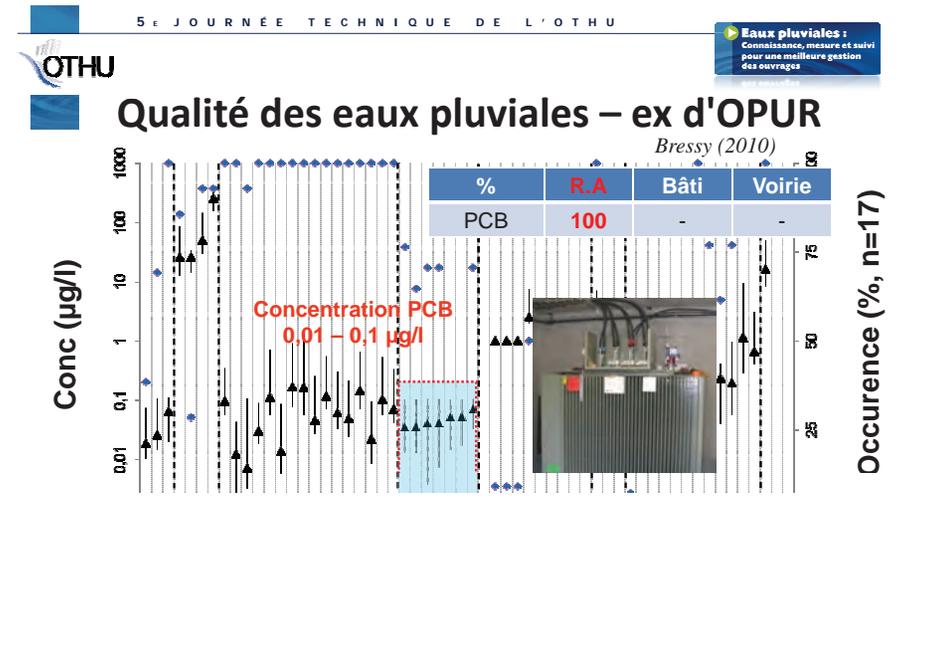
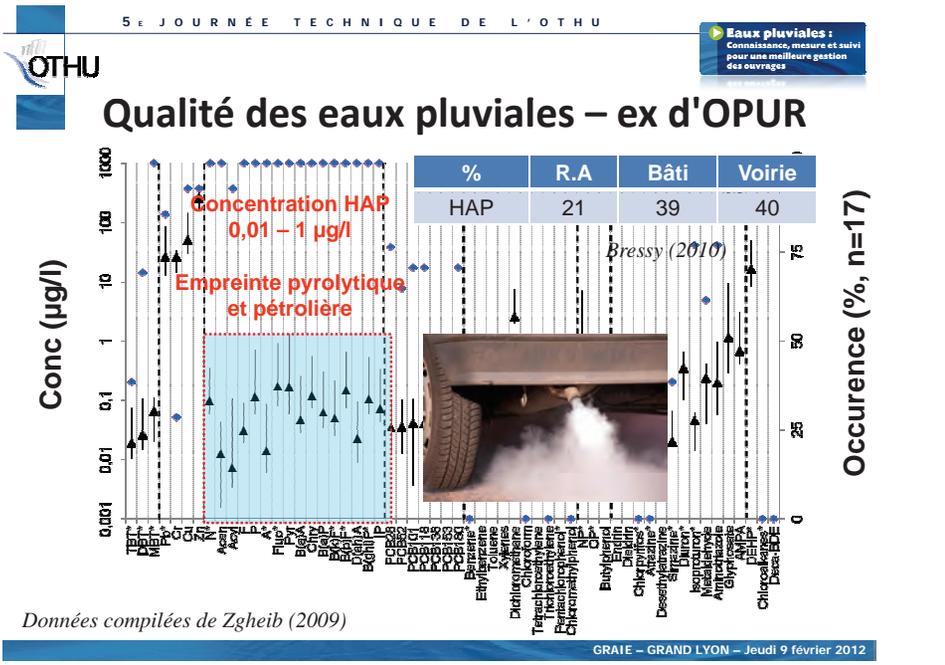


Données compilées de Zgheib (2009)

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

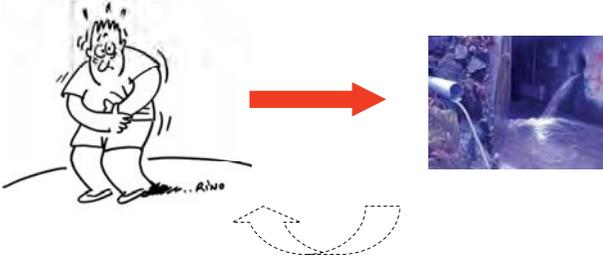
5^e JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

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^e 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^e 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^e JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU

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

Principaux dangers – infections d'origine hydrique

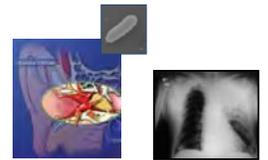
– quels agents infectieux?

- ▶ 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^e 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^e 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^e 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

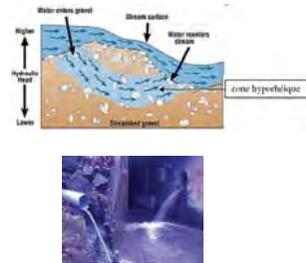
GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



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

Objectifs opérationnels du projet OTHU – « agents infectieux »

- identifier les compartiments contaminés ou colonisés
- estimer les dangers d'infection selon le type de rejet et les quantités déversées
- définir des règles permettant de limiter les expositions
- proposer des indicateurs / risques infectieux



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

Objectifs scientifiques du projet OTHU – « agents infectieux »

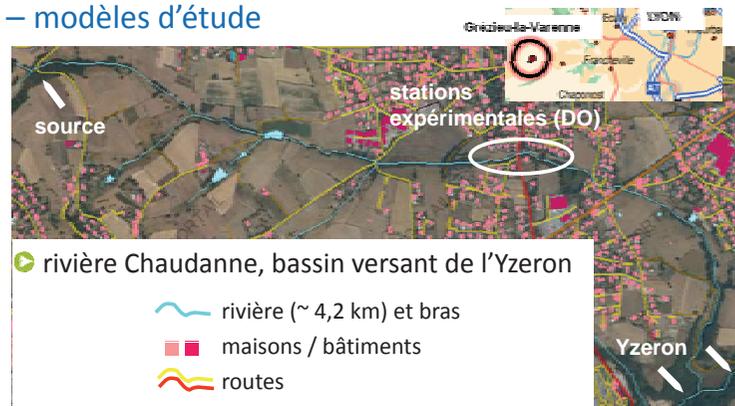
- étudier l'écologie des agents infectieux
 - ▶ dynamiques spatio-temporelles
 - paramètres physico-chimique, écotoxicité, flux hydriques, géomorphologie
 - ▶ interactions avec les autres espèces (effet sur l'état écologique)
- étudier l'adaptation aux contraintes environnementales
 - ▶ acclimatation et multiplication: notion de population adaptée et lignées (clones) dominantes
 - ▶ sélection de lignées (variants) génétiques / nouveaux dangers



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

Projet INVASION (ANR CES)

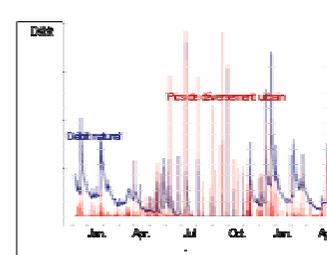
- inter-équipes OTHU / pluridisciplinaire (LEM, HH CEMAGREF, LSA U. Lyon 1, LSE-ENTPE, EVS U. Lyon 2, BMGeo)
- modèles d'étude



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

Projet INVASION

- modèles d'étude
 - ▶ stations expérimentales de l'OTHU



crue Fev-2009

5^e 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^e 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^e 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^e 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

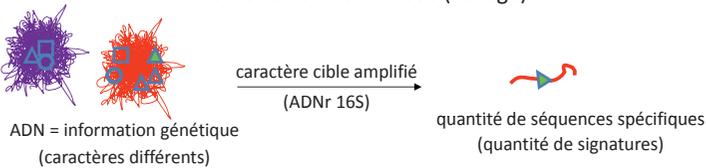
5^E JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

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^E 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^E 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^E 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^E JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU

REMERCIEMENTS

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

Ecologie Microbiome
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^E 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

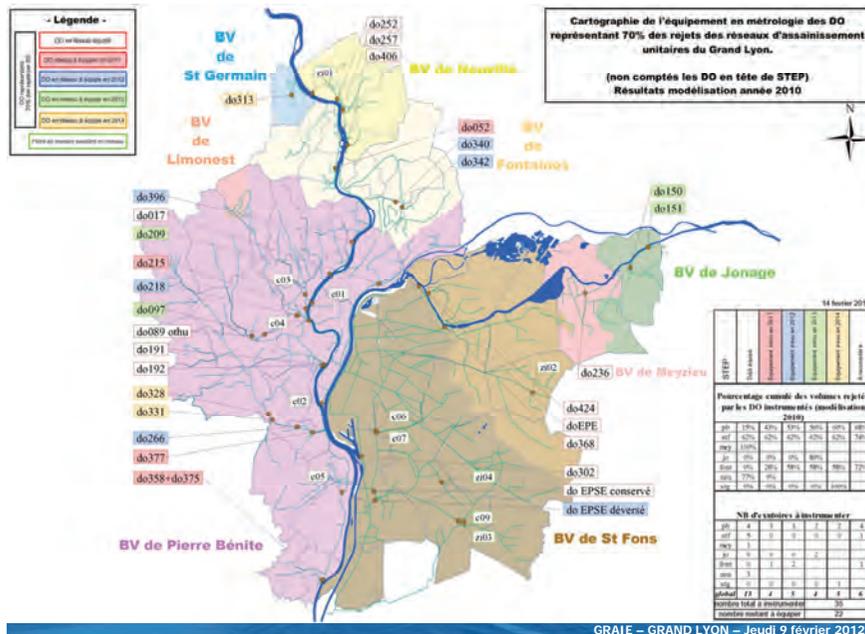
GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

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

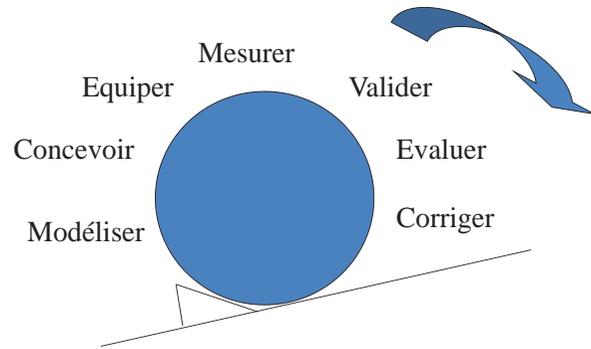
GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

Suivi et mesure des RUTP au Grand Lyon

- Processus modélisation / métrologie



Suivi et mesure des RUTP au Grand Lyon

- 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

Suivi et mesure des RUTP au Grand Lyon

► 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

Suivi et mesure des RUTP au Grand Lyon

- 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



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, H₂S, 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) 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.

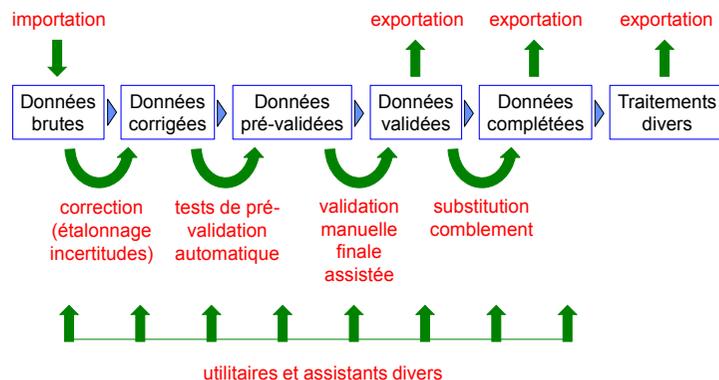


Figure 1 : démarche méthodologique générale de validation et traitement des données

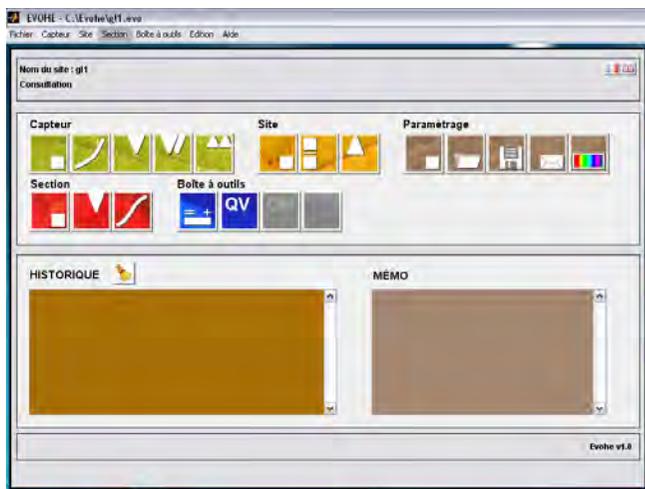


Figure 2 : interface générale du logiciel EVOHE (version 1, février 2012)

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.

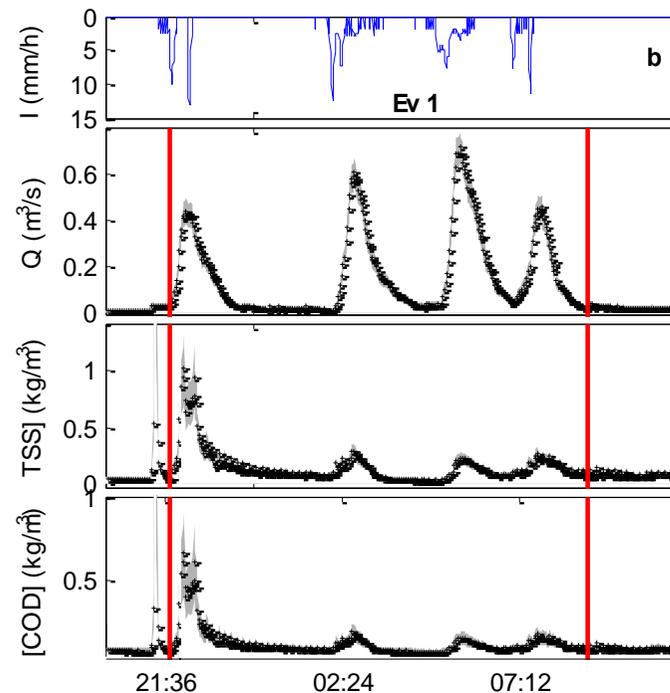


Figure 3 : dynamique du débit (m^3/s) et des concentrations en MES et DCO (kg/m^3) pendant un événement pluvieux à Chassieu, avec les intervalles de confiance à 95 % en gris

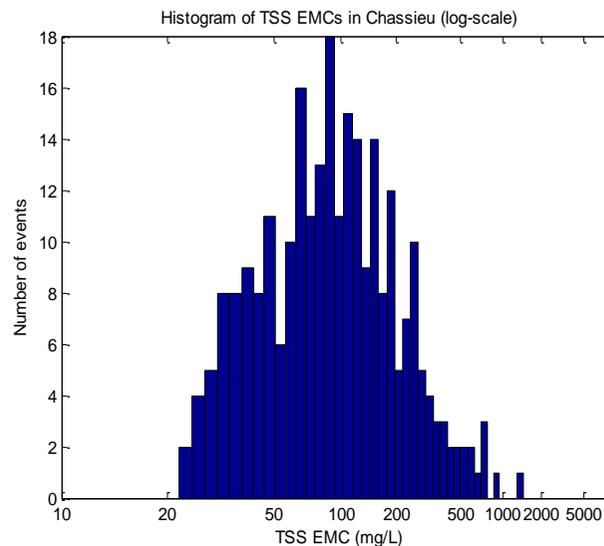


Figure 4 : histogramme des concentrations moyennes événementielles en MES à Chassieu (période 2004-2008, 263 événements mesurés en continu).

5^e 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

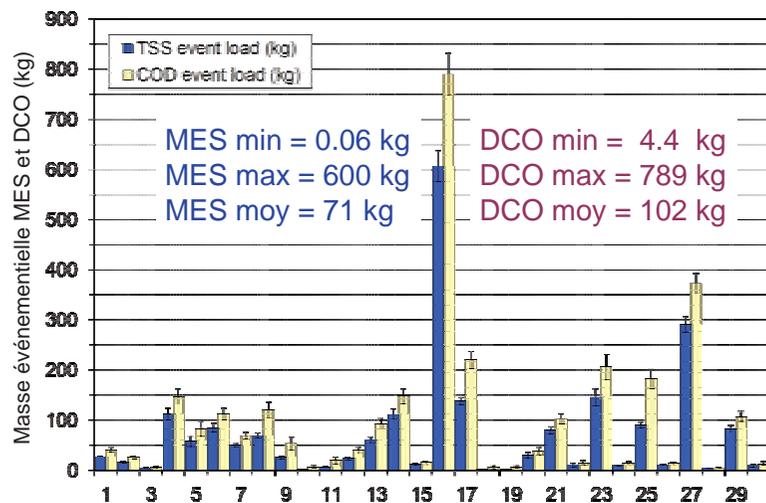


2

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

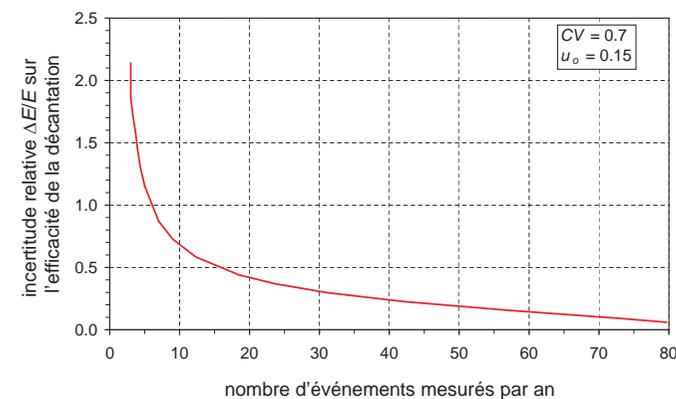


30 déversements réseau unitaire à Ecully en 2004



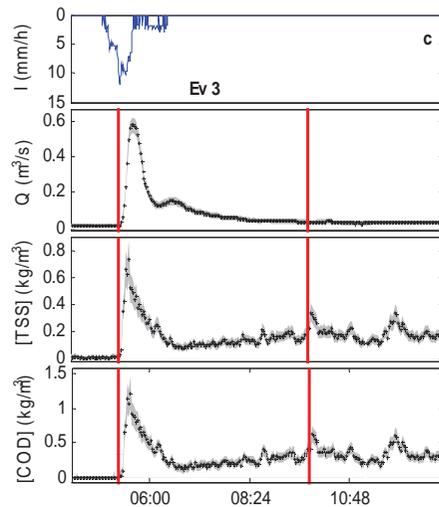
3

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_{tot}, DCO_{dissoute}, autres
- Turbidité : expérience de +10 ans en recherche (URBIS)
 - validation de l'approche pour MES et DCO_{tot}
 - transfert des connaissances, méthodes, pratiques, outils
 - conférences
 - articles TSM, La Houille Blanche
 - site www.turbidite-assainissement-cil.fr
 - guide technique ASTEE-SHF en cours de rédaction
 - information ► formation (ex. GRAIE / INSACAST)

www.turbidite-assainissement-cil.fr

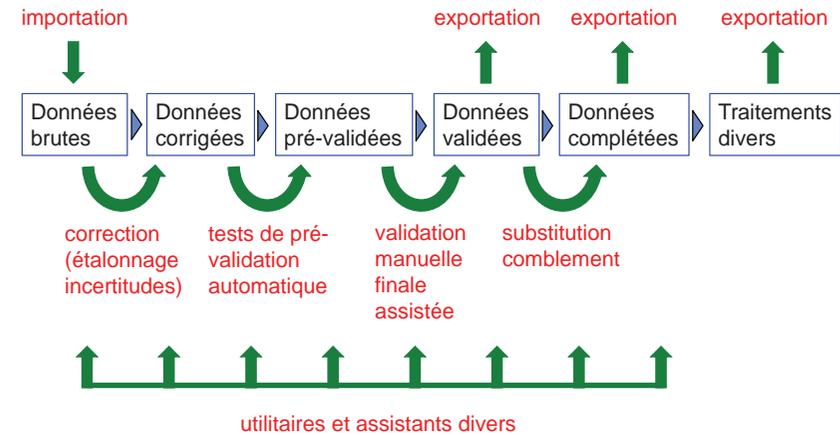
TRAITEMENT DES DONNEES

- 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

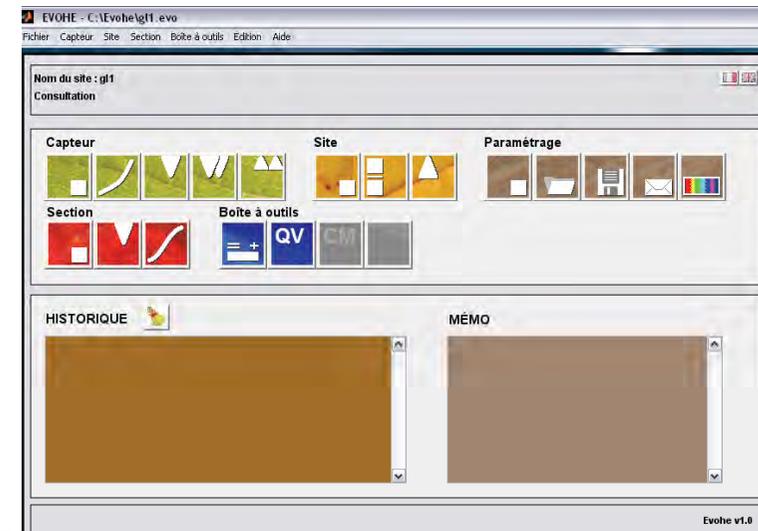
TRAITEMENT DES DONNEES

- 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

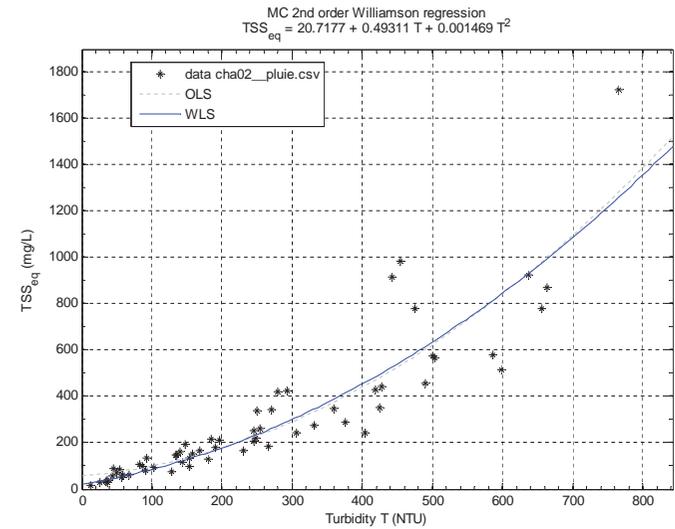
VALORISATION

- 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



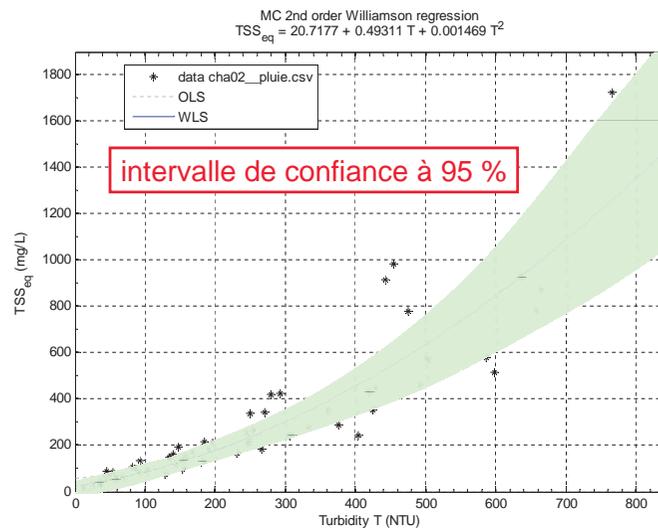
13

FONCTION DE CORRELATION



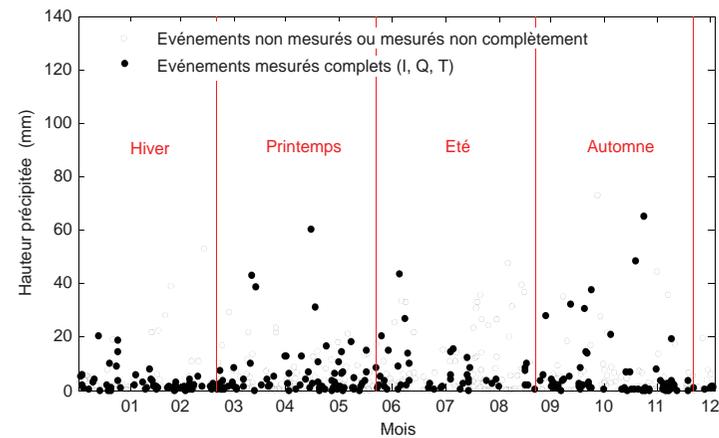
14

FONCTION DE CORRELATION



15

REPRESENTATIVITE INTER-ANUELLE

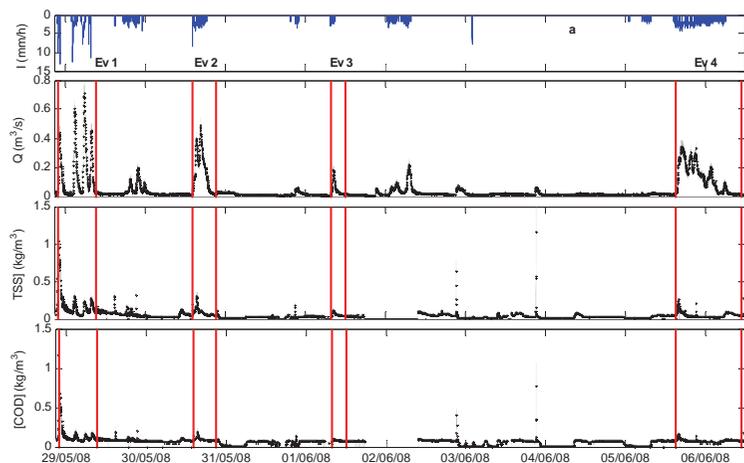


263 événements sur 655 pour la période 2004-2008

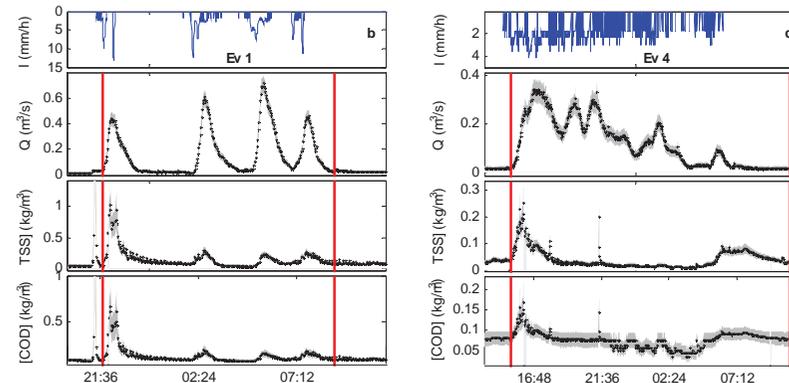


16

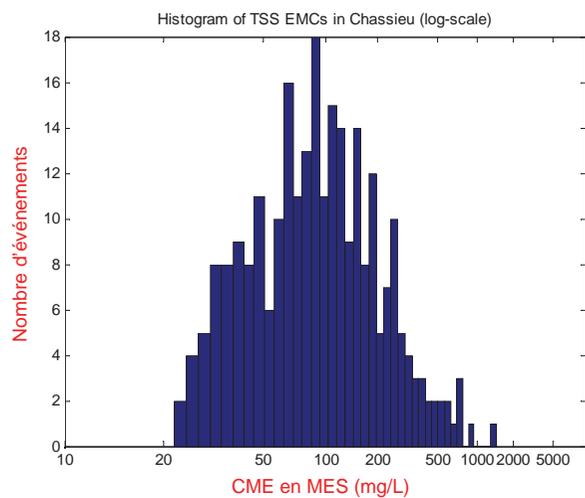
DYNAMIQUE INTRA-EVENEMENTIELLE



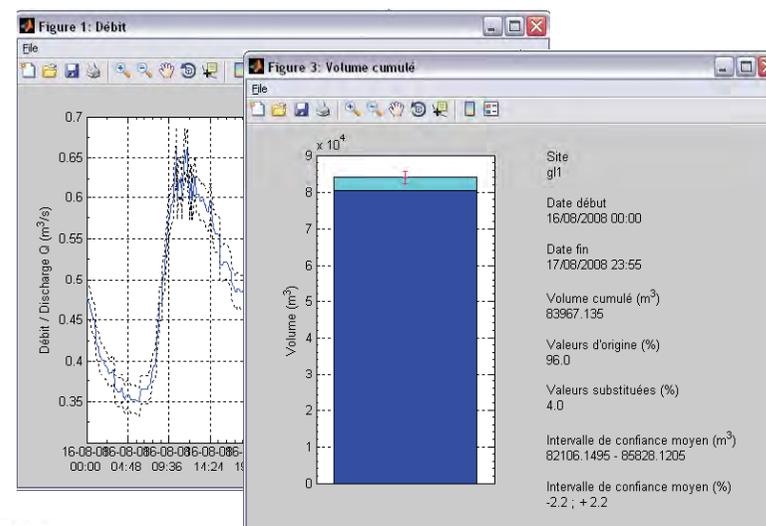
DYNAMIQUE INTRA-EVENEMENTIELLE



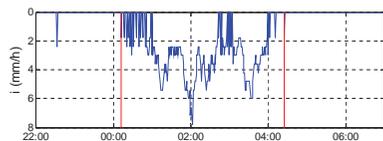
CONCENTRATIONS EVENEMENTIELLES



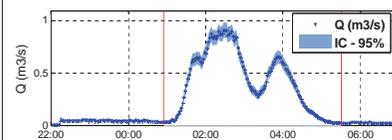
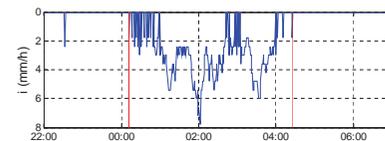
BILAN SUR UNE PERIODE DONNEE



Evénement pluvieux du 17 mai 2008

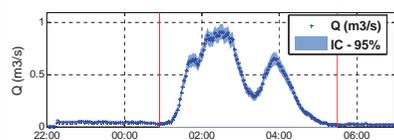
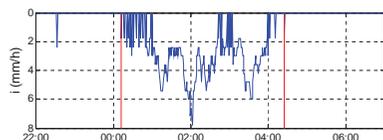


Evénement pluvieux du 17 mai 2008

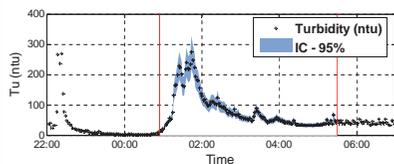


- Q calculé par Manning-Strickler
 - $u_{site}(h) = 7.5 \text{ mm } (+/- 2 * u = 95 \% \text{ CI})$

Evénement pluvieux du 17 mai 2008

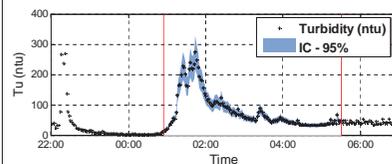
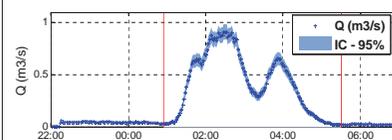
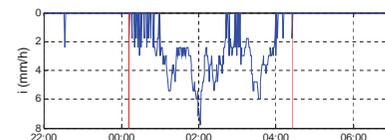


- Q calculé par Manning-Strickler
 - $u_{site}(h) = 7.5 \text{ mm } (+/- 2 * u = 95 \% \text{ CI})$

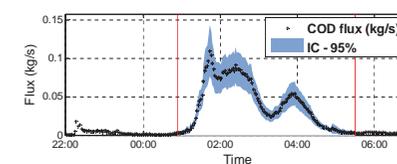
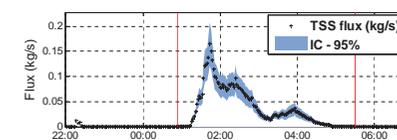


- Turbidité T (FNU)
 - $u_{site}(T) = 10 \% \text{ de } T \text{ (FNU)}$

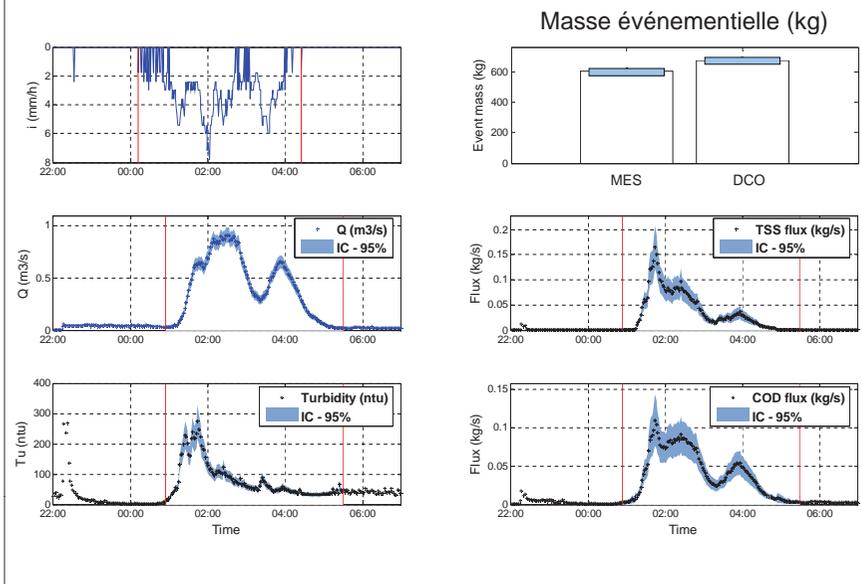
Evénement pluvieux du 17 mai 2008



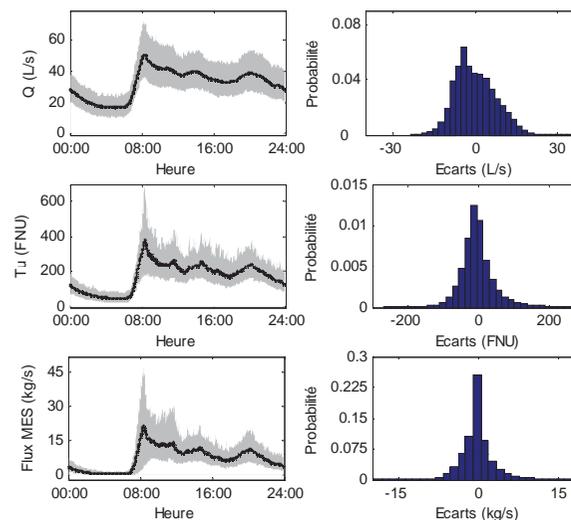
Flux en continu (kg/s)



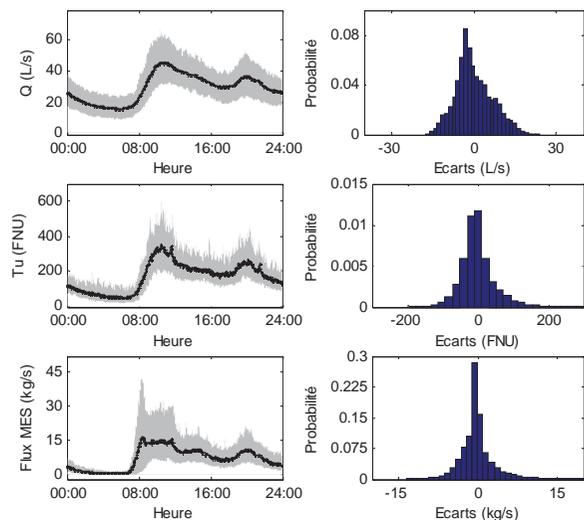
Événement pluvieux du 17 mai 2008



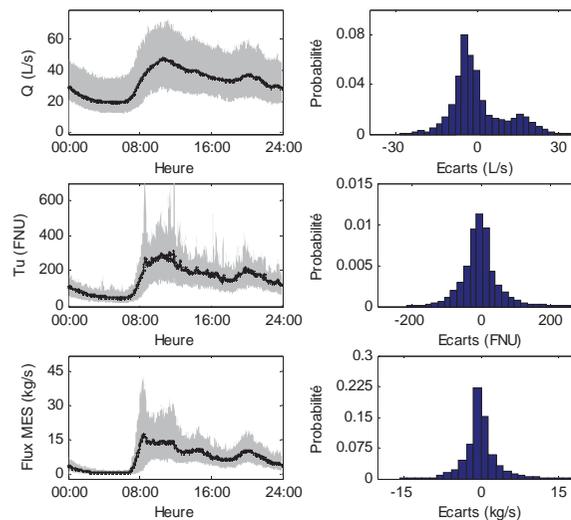
JTS classe 1 (jours de semaine)

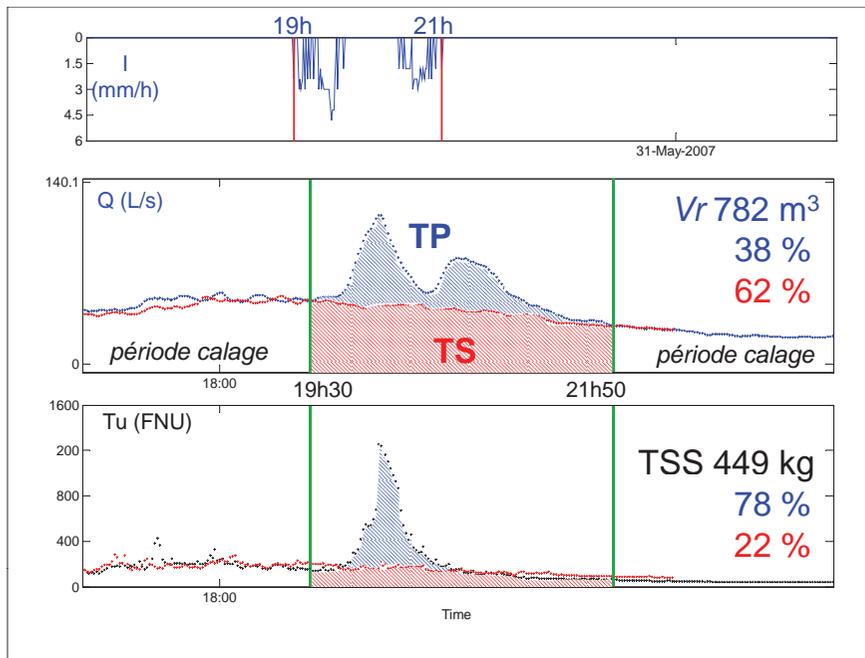


JTS classe 2 (week-ends)

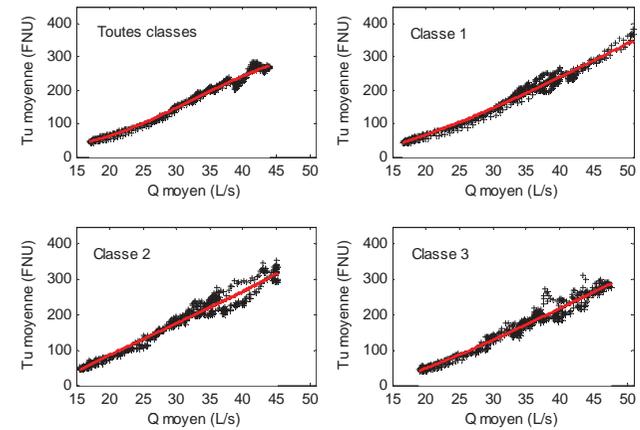


JTS classe 3 (vacances)





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^e 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^e 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

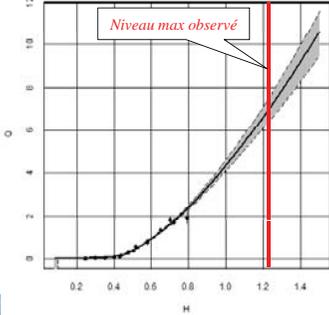
Applications

- 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^e 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^e 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

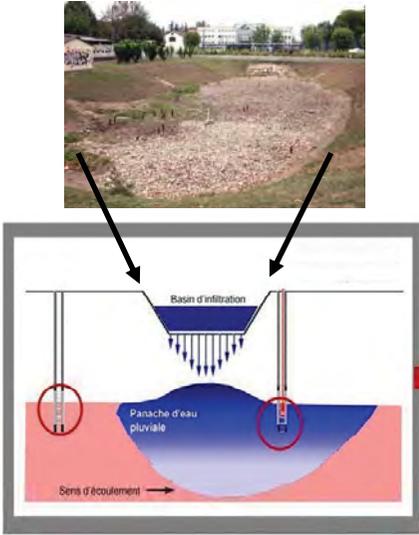


GRANDLYON **graie** Espace Tête d'Or - LYON/VILLEURBANNE - Jeudi 9 février 2012

5^e 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^e 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

5^e JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU

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

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"

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5^e JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU

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

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

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5^e JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU

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

Mesures physiques, chimiques et biologiques

Piezomètres de référence Piezomètres de suivi du bassin

Piezomètres en flute de Pan

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5^e JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU

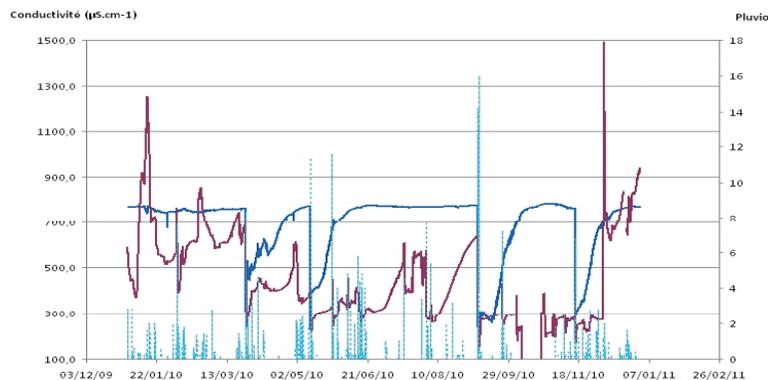
Eaux pluviales :
Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages.

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).

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

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

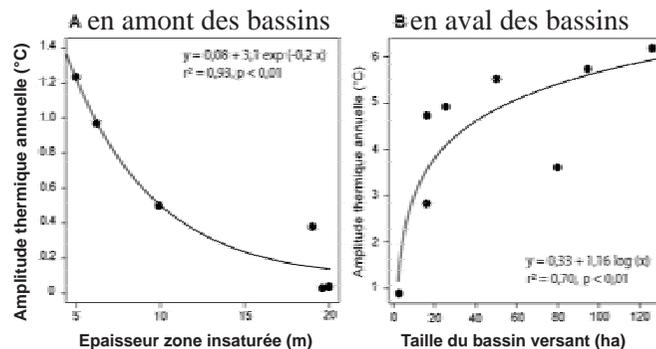
Exemple de la température en amont et en aval du bassin de Django Reinhard de 2002 à 2007



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

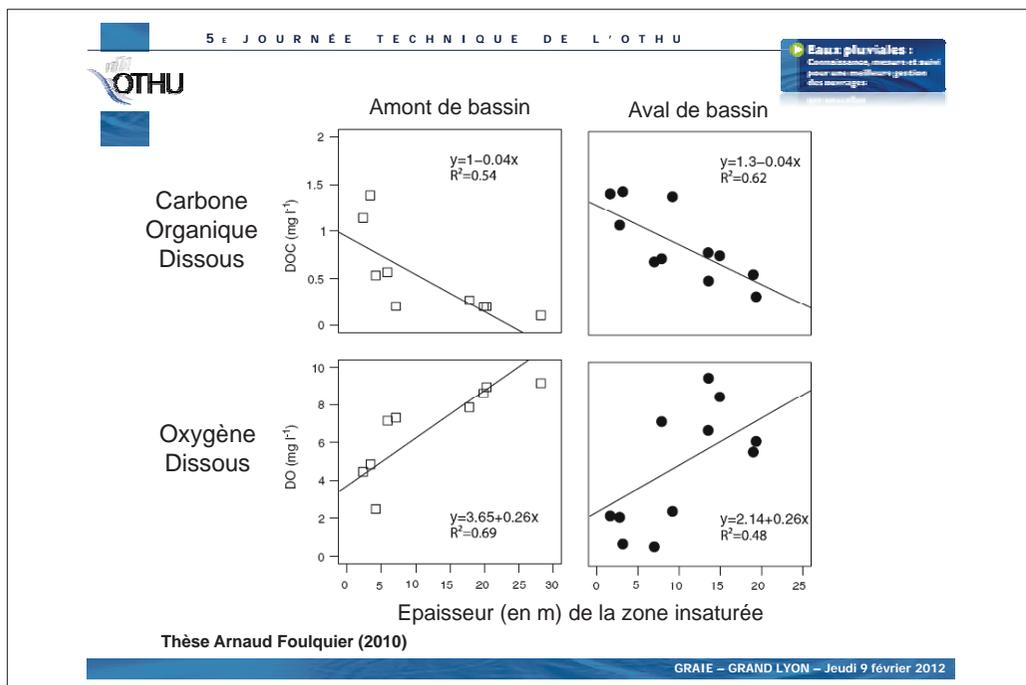
Thèse Arnaud Foulquier (2010)

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^E 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^E 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

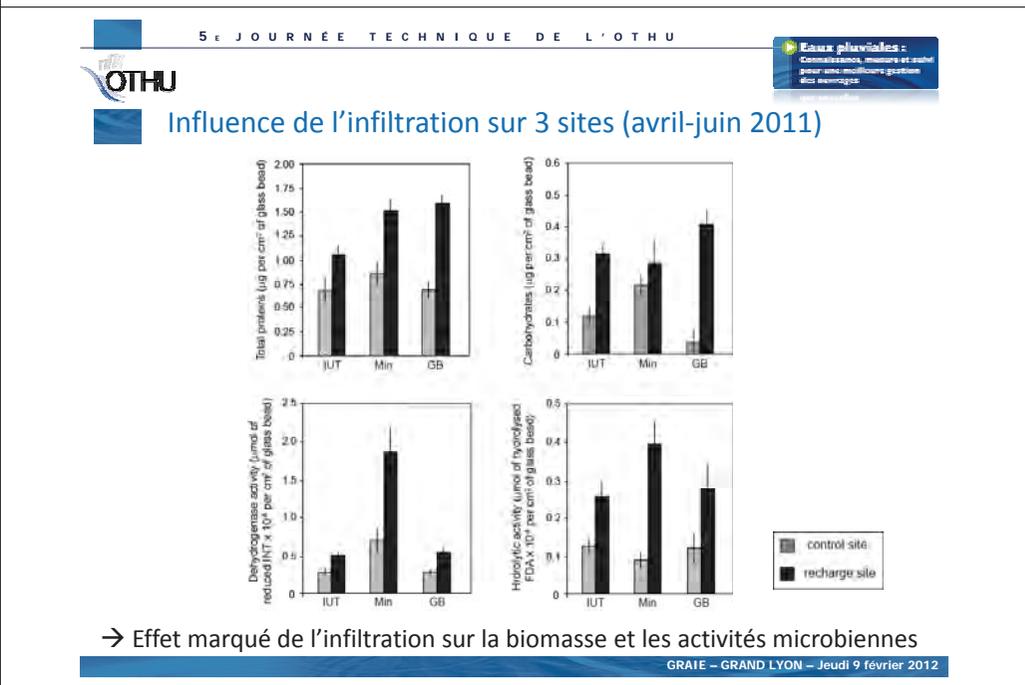


Développement du biofilm sur billes de verre

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^E 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^E 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^E 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^E 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^e 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

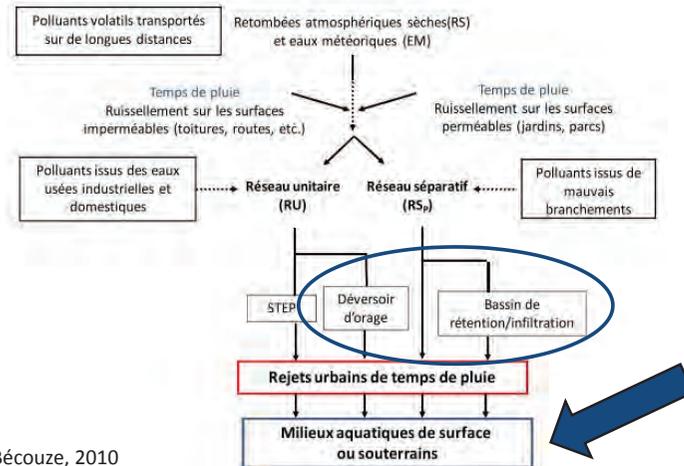
1. Ruth Angerville. *Evaluation des risques écotoxicologiques liés au déversement de Rejets Urbains par Temps de Pluie (RUTP) dans les cours d'eau : Application à une ville française et à une ville haïtienne*. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2009.
2. Céline Becouze-Lareure. *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



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 O₂
- 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

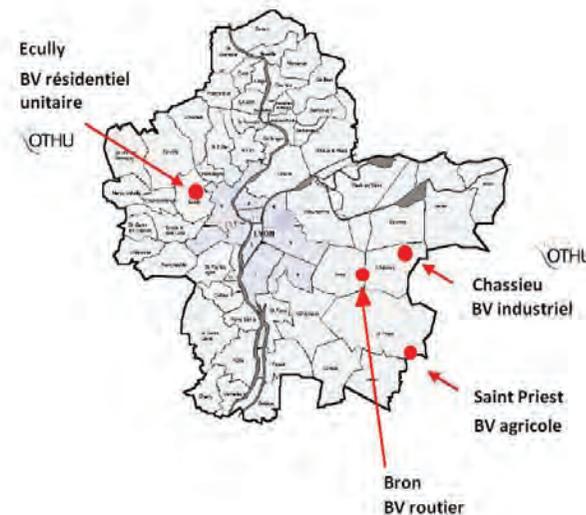
- Déversoirs d'orage
- Bassins d'infiltration/de rétention

Des BV variés

- Résidentiel
- Industriel

Des conditions de travail privilégiées

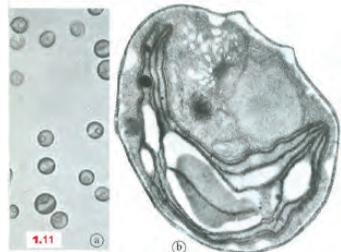
- Préleveurs programmables
- Suivi des paramètres physicochimiques
- Electricité
- Télétransmission des données
- Retours d'expérience



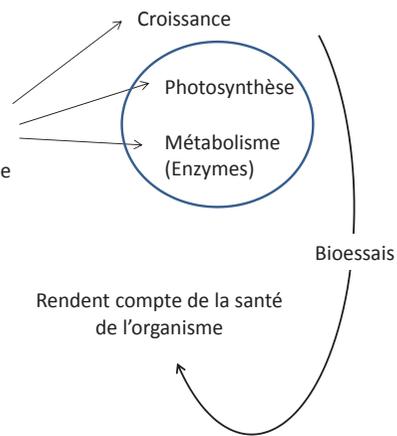
Les algues unicellulaires: des organismes bioindicateurs

Les algues unicellulaires

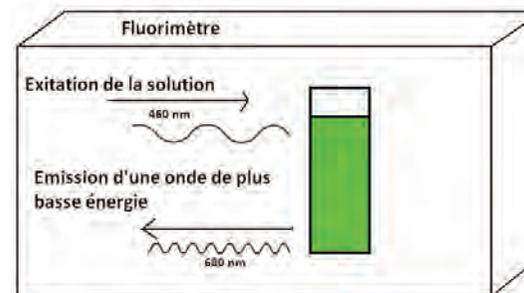
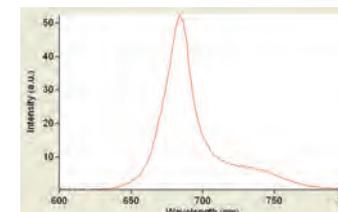
- Ubiquiste de nombreux milieux
- Faciles à cultiver et manipuler
- Dotés d'un grand réalisme écologique



Chlorella vulgaris



Fluorescence chlorophyllienne



5^e 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^e 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^e 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^e JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU Les algues unicellulaires: des organismes bioindicateurs

Activités enzymatiques

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5^e JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU Les algues unicellulaires: des organismes bioindicateurs

Eaux pluviales : Connaissance, mesure et suivi

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^e JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU Les algues unicellulaires: des organismes bioindicateurs

Eaux pluviales : Connaissance, mesure et suivi

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^e JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

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

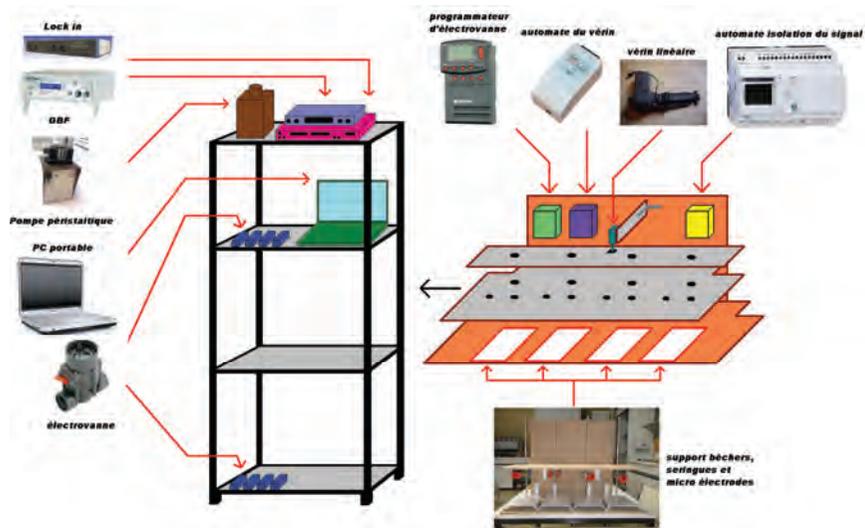
5^e JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

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

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

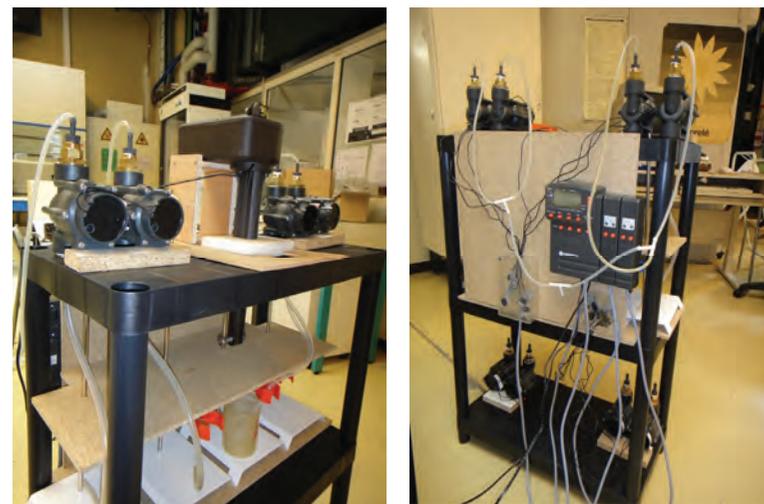
GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

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

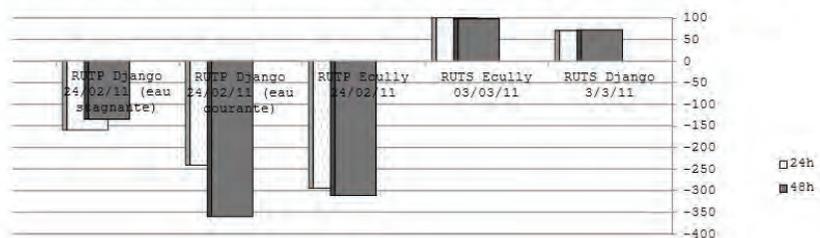


Vers un dispositif automatisé de suivi de la qualité des rejets

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

Activité phosphatase alcaline

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



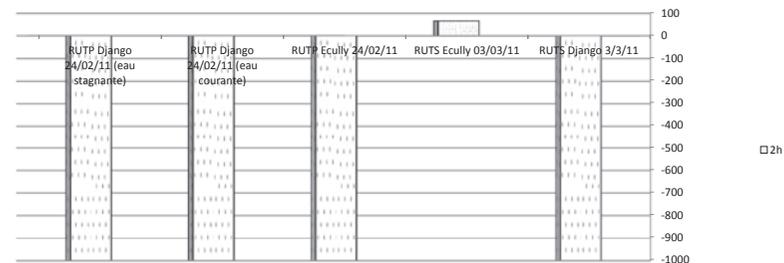
GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



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 écotechnologies
 - Connaissances sur les ressources que constituent ces écotechnologies pour les fabricants
 - ✓ Rendre compte des nouveaux modèles économiques nécessaires à l'existence des écotechnologies
 - ✓ Rendre compte des objectifs des fabricants (instrumentation)
 - Connaissances sur la mobilisation des écotechnologies 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



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

Introduction

- **Objectifs opérationnels** : Produire des connaissances sur les conditions de réception et de généralisation des écotechnologies 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



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

De la nature aux objets de nature

- Parmi les écotechnologies 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 écotechnologies 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^e et XIX^e 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



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



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



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 SAULAIS¹, Cécile DELOLME², X. MARSAULT³, R. SALERI³, D. LEMOINE², Jean-Philippe BEDELL²

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

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

³ : 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 1m² 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) |
| Date de mise en service | 2000 | 2003 | 1995 | 1975, réhabilité en 2001 | 1999 | 2003 |
| Nature du bassin | B.R. | B.R. | B.I. | B.I. | B .R. | B.R. |
| Nature du bassin versant (BV) | Agricole | Résidentiel | Industriel | Industriel | Tertiaire | Résidentiel |
| Coefficient d'imperméabilisation | 0.3 | 0.3 | 0.55 | 0.7 | 0.8 | 0.3 |
| Surface du BV (en ha) | 42 | 28 | 145 | 175 | 146 | 28 |
| Surface du bassin (en m²) | 2950 | 630 | 7791 | 8112 | 4333 | 212 |
| Autre information sur la végétation | Plusieurs espèces | Plusieurs espèces | Plusieurs espèces | Plusieurs espèces dominantes | Plusieurs espèces | Une seule espèce |

5^e 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.¹, DELOLME C.², MARSAULT X.³, SALERI R.³, LEMOINE D.², BEDELL J.P.²
CERTU¹/ LEHNA² /MAP ARIA³

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^e 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^e 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

Des apports scientifiques

Doit-on contrôler le développement de la végétation ?

Végétation volontaire ou naturelle ?

Quel devenir des déchets (végétaux + dépôts) ?

Bassins végétalisés

Rôle de la flore ?

Rôle paysager ? Rôle épuratoire ? ...

Quel entretien ?

Peut-on laisser la végétation en place ?

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

Lame d'eau
→ Dépôts

pH, teneur en oxygène, teneur en nutriments, ...

Plantes bio-indicatrices de leur milieu de croissance

M.Saulais

GRAIE - GRAND LYON - Jeudi 9 février 2012

5^e 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

M.Saulais

GRAIE - GRAND LYON - Jeudi 9 février 2012

5^E 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 m²

Django



Bassin versant **industriel**
Végétalisation naturelle
8112 m²

Pithioud



Bassin versant **industriel**
Végétalisation naturelle
7791 m²

Grézieu, B1



Bassin versant **résidentiel**
Végétalisation volontaire
288 m²

Grézieu, B2



Bassin versant **résidentiel**
Végétalisation naturelle
630 m²

Minerve



Bassin versant **tertiaire**
Végétalisation volontaire
4333 m²

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5^E 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

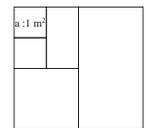
5^E JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

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 (1m²) → 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^E 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 éparses

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 m² BV de 20 ha

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5^e 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^e 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^e 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

1 bassin de faible biodiversité
Espèces hygrophyles

1 bassin de biodiversité moyenne
Prairie humide

Biodiversité + élevée
Une cinquantaine d'espèces

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5^e JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU

Flore de bassins colonisés naturellement

1 bassin de faible biodiversité

PITHILOUD

Maparia, Ensul

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,...)

Biodiversité forte

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5^e 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 m² 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^e 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

Senecio inaequidens
Espèce invasive
perxérophile
mésotrophile
Sable
Friches, décombres

Espèces rudérales, qui affectionnent les espaces, perturbés ou instables

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

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

Espèce disséminée Agrégat

Distribution de la végétation
Organisation dite «éparse»

BV de 42 ha BV agricole
S = 2950 m²

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5^e 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 m²
✓ 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

Mélange floristique
Senecio inaequidens
Erigeron annuus

Phalaris arundinacea

Sol sans couvert végétal, caillouteux, sec

Rumex crispus

MAP ARIA LEHNA (M.Saulais)

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5^e 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 ² | 1041 mg/m ² |

Horizon de surface
98,6%
82019 mg/m²

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^e 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

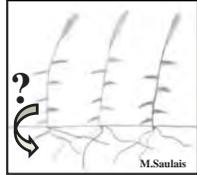
GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5^e 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^e 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^e 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^e 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^e 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^e JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU

A- Echelle globale

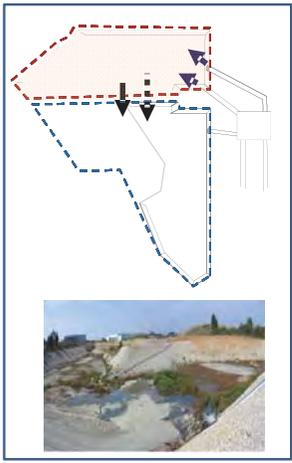
Eaux pluviales :
Connaissance, mesure et suivi
pour une meilleure gestion
des ouvrages

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

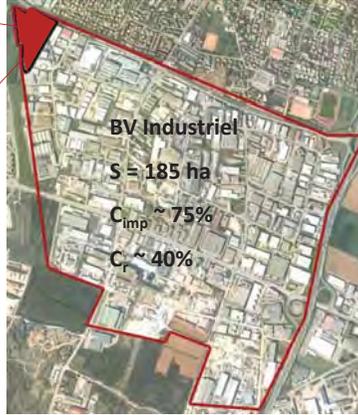
Principe & méthode (2/5)

A1 - Site réel



réretention
↓
infiltration

61000 m³
~ 8 000m²



BV Industriel
S = 185 ha
C_{imp} ~ 75%
C_r ~ 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

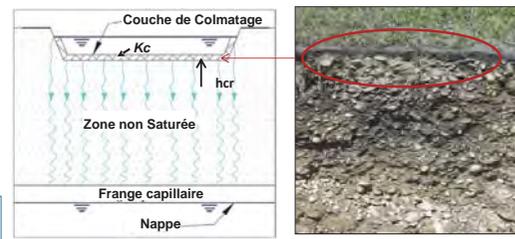
OTHU A- Echelle globale

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

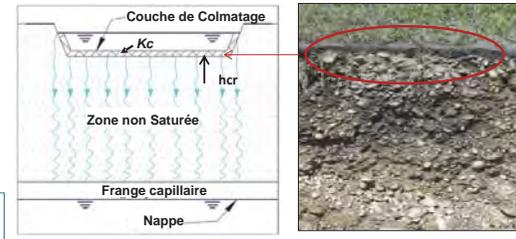
OTHU A- Echelle globale

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

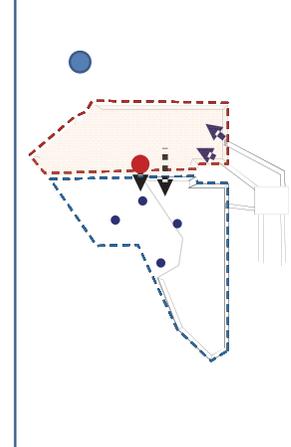
Eaux pluviales :
Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages

OTHU A- Echelle globale

Principe & méthode (5/5)

A4 - Moyens métrologiques pour estimer l'indicateur

$\Delta t = 2 \text{ min}$



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^e JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU **B- Echelle semi globale**

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

Principe & méthode

idem mais calage

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

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5^e JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU **Résultats (échelle du bassin)**

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

Evolution de la résistance hydraulique au cours du temps

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5^e JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU **Résultats (échelle du bassin)**

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

Végétalisation spontanée du bassin

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

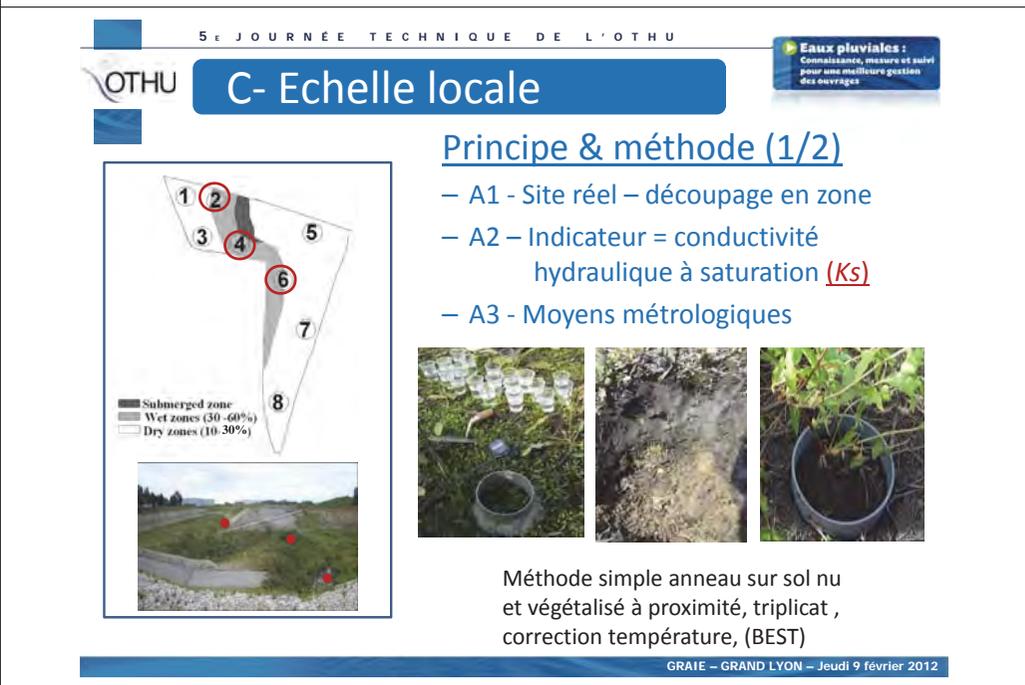
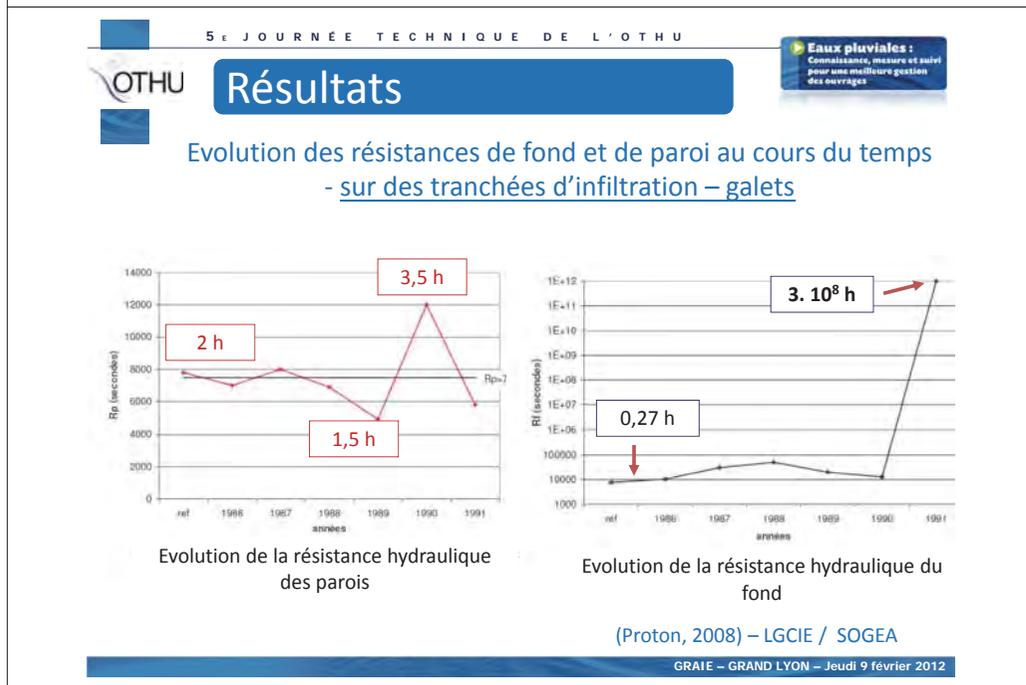
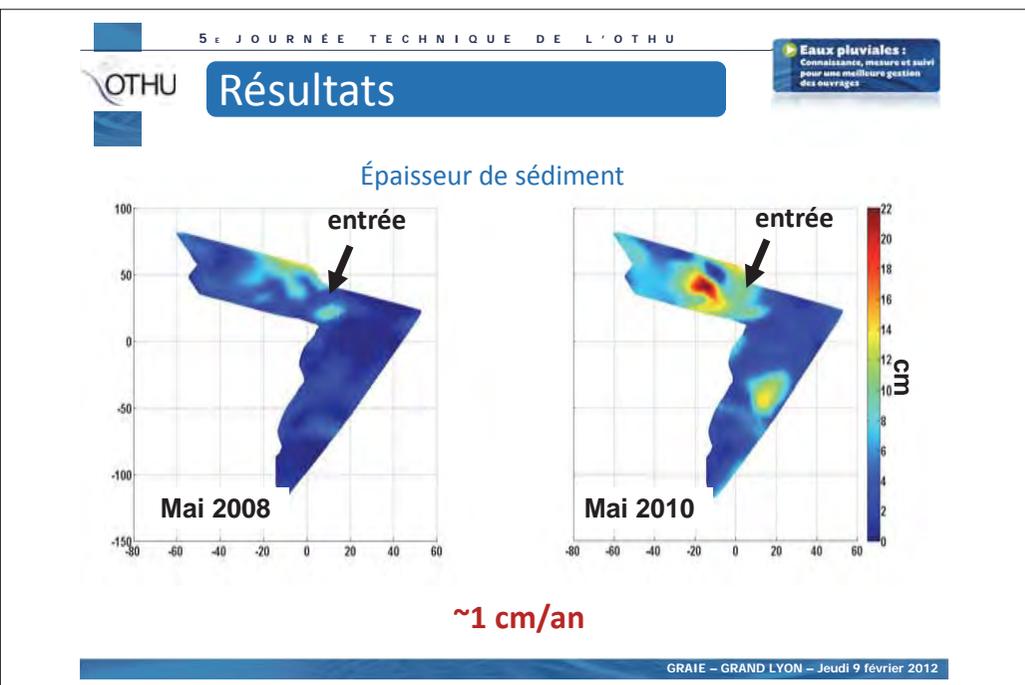
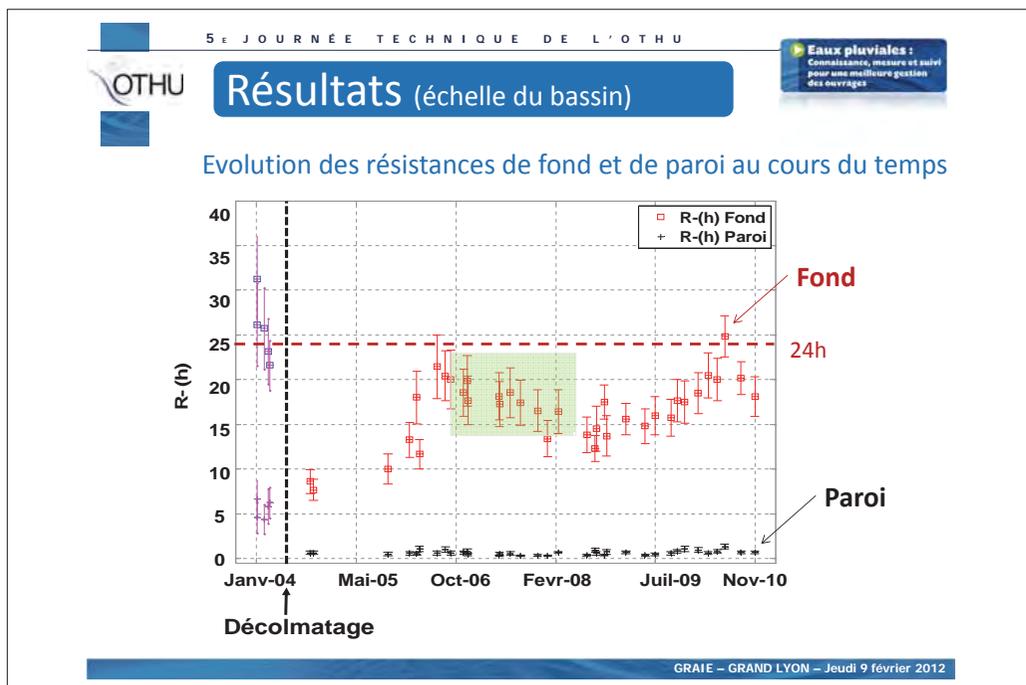
5^e JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU **Résultats**

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

Répartition statistique annuelle de la résistance hydraulique

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012



5^e JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU **C- Echelle locale**

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

Végétaux étudiés

Phalaris Arundinacea

Polygonum Mite

Rumex Crispus

5^e 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

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5^e 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

Phalaris Arundinacea

Rumex Crispus

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5^e JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU **Résultats**

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

Phalaris Arundinacea

Rumex Crispus

GRAIE – GRAND LYON – Jeudi 9 février 2012

5^e 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^e 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^e JOURNÉE TECHNIQUE DE L'OTHU

OTHU

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

Programme ECOPLUES

*TERRAINS ADAPTÉS DE CUMULATIF DES VOLUMES D'EAU PLUVIALES DE 100 000 LITRES/HA
Avec la maîtrise de l'écoulement des ouvrages d'infiltration urbains.



L'infiltration en questions
Recommandations pour la faisabilité
la conception et la gestion des ouvrages
d'infiltration des eaux pluviales
en milieu urbain



Version 2 – Janvier 2009

Document réalisé avec le soutien de GRANDLYON, GRAIE, Grand Lyon, Travaux d'Urbanisme et Développement Local (UDL) (PNU/UDL)



GRAIE – GRAND LYON – 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 ECCLAIRA¹ 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 m², dont 283 m² 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.

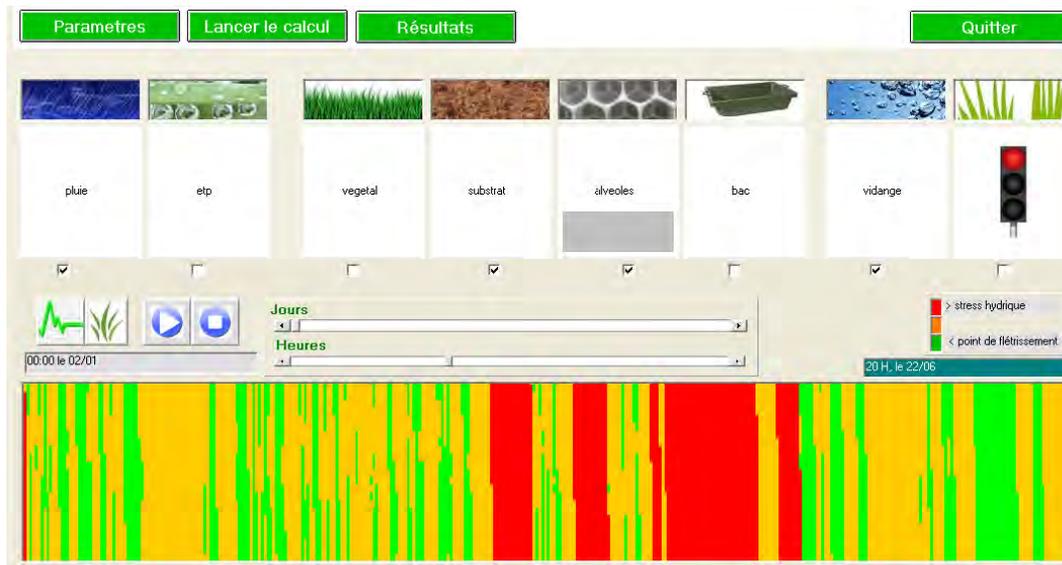
Une première version du modèle a été établie en 2011, qui tient compte de plusieurs paramètres : caractéristiques du substrat, ETP journalière discrétisée au pas de temps de la minute, fonctions de stockage et de transferts entre les différents compartiments.

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



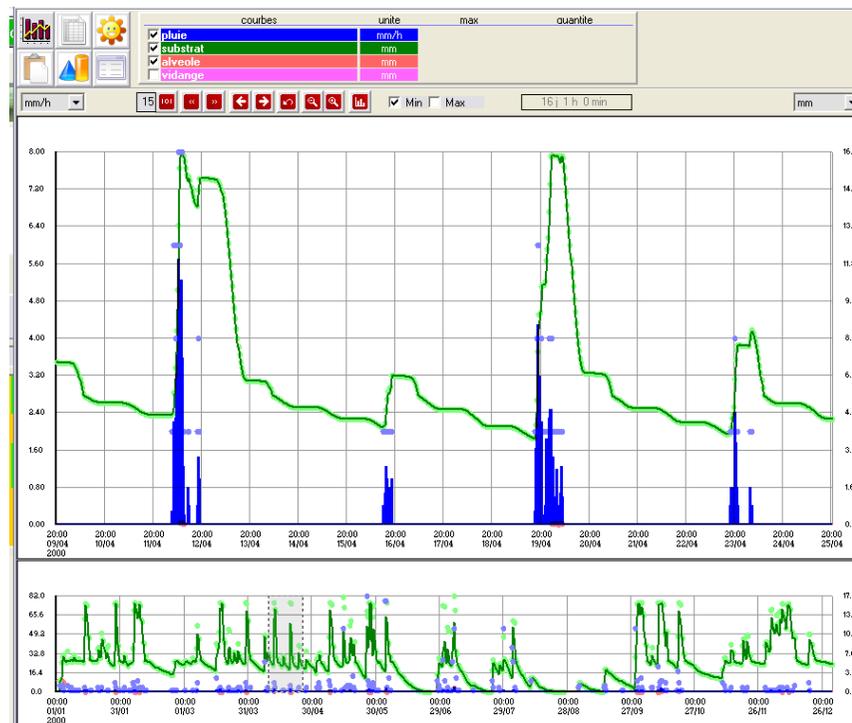
Figure 1, a : vue générale des toitures végétalisées (source Google Earth), b : vues de la toiture instrumentée et des conduites d'évacuation (photos N. Bergaud, RAEE).

¹ 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
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

