

Rejets Urbains:

10 ans d'observation et
de recherche au service
de l'action



OBSERVATOIRE
DE TERRAIN
EN HYDROLOGIE
URBAINE

Mardi 20 octobre 2009
Hôtel de la communauté urbaine de Lyon

Organismes partenaires:

Agence de l'eau RM&C
DREAL Rhône Alpes
Cluster de recherche Environnement de la Région Rhône Alpes
CERTU

Sommaire

Avant propos

L'OTHU et les journées techniques

Programme

Supports d'intervention de la journée

L'OTHU: pourquoi ? Sylvie BARRAUD, Directeur de l'OTHU , INSA de Lyon / UCBL Lyon I -----	7
Caractériser la pluie et sa dynamique sur une agglomération Jacques COMBY, Florent RENARD, UJM Lyon 3 Bernard CHOCAT, INSA de Lyon-----	19
Qualité chimique des eaux Application de la DCE : développement d'un Microsystème de mesure Philippe NAMOUR, UCBL Lyon I/ CEMAGREF de Lyon - Nicole JAFFREZIC, UCBL Lyon I -----	43
Acquisition de données en continu : équipements, procédures, exemples de résultats Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI, Gislain LIPEME KOUYI, INSA de Lyon -----	63
Quoi de neuf dans les eaux pluviales : les substances prioritaires de la DCE Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI, Céline BECOUZE, Abel DEMBÉLÉ, INSA de Lyon Marina COQUERY, CEMAGREF de Lyon -----	79
Infiltration des eaux pluviales : apports, impacts, préconisations Sylvie BARRAUD, INSA de Lyon/ UCBL Lyon 1 Cécile DELOLME , Thierry WINIARSKI, ENTPE Florian MALARD, UCBL LYON 1 -----	95
Schéma méthodologique pour la gestion des petits cours d'eau périurbains Laurent SCHMITT, Université Lyon 2 / CNRS- Isabelle BRAUD, Pascal BREIL, Michel LAFONT, CEMAGREF de Lyon -----	111
Rejets urbains : risques sanitaires et écologiques Apports de la microbiologie et de l'écotoxicologie : approches prospectives Benoit COURNOYER, UCBL Lyon 1 / EVL / CNRS Yves PERRODIN, ENTPE -----	135
Pour le développement d'approches plus stratégiques, d'une gestion plus globale et de meilleures pratiques: recherche en cours et perspectives Sylvie BARRAUD, Directeur de l'OTHU , INSA de Lyon / UCBL Lyon I Jean CHAPGIER, GRAND LYON -----	164

Les supports d'intervention et vidéos de la journée sont téléchargeables sur le site internet du GRAIE et de l'OTHU

Avant Propos

Les rejets urbains de temps de pluie (RUTP)

La **concentration urbaine** et son développement conduisent à collecter et transporter des quantités d'eaux de plus en plus importantes.

L'accroissement des volumes et des débits de pointe provoquent d'une part des **inondations** et d'autre part des **pollutions** des milieux récepteurs.

Les rejets urbains de temps de pluie se déversent pendant un événement pluvieux et la période de temps qui lui succède, tant que le système d'assainissement n'a pas retrouvé un fonctionnement nominal de temps sec. Ces rejets sont principalement constitués des eaux rejetées par :

- ▶ les exutoires pluviaux : rejets d'eaux pluviales généralement non traitées,
- ▶ les déversoirs d'orage : mélange d'eaux usées et d'eaux pluviales non traitées,
- ▶ les installations d'épuration : mélange d'eaux usées et d'eaux pluviales traitées.

Les RUTP sont de plus en plus souvent mis en cause dans la pollution des milieux aquatiques – eaux de surface et eaux souterraines. Ils constituent en effet une des sources potentielles importantes de polluants des milieux récepteurs, drainant métaux lourds, hydrocarbures et autres composés organiques naturels ou de synthèse.

La France doit respecter d'ici 2015 ses engagements sur l'amélioration de la qualité des milieux récepteurs superficiels et souterrains liés à la DCE ; des moyens importants sont déployés par les collectivités pour atteindre ou conserver le bon état écologique des masses d'eau. **La maîtrise des RUTP est donc un enjeu important**, mais, la compréhension des phénomènes liés à ces rejets est complexe.

Mieux connaître et mieux maîtriser les rejets urbains demande de l'acquisition de données. Si les campagnes de mesures ponctuelles ont permis de faire progresser les connaissances, notamment en matière de pollution des eaux de ruissellement, elles n'ont pas permis d'en appréhender les dynamiques, les mécanismes, ni l'évolution sur le long terme. La mise en place de **systèmes d'observation pérennes** permet notamment d'intercepter des événements rares et d'intégrer l'évolution des systèmes sur le long terme.

C'est pourquoi l'OTHU s'est construit en 1999, avec l'ambition de constituer un réseau d'observations 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, avec une approche pluridisciplinaire associant des compétences sur des domaines complémentaires : hydrologie, microbiologie, biologie, physico-chimie, géomorphologie, science du sol, climatologie, sciences sociales, ...

Ces travaux qui se poursuivent, ont dès aujourd'hui des **retombées opérationnelles** exposées au cours de la journée.

L'OTHU

L'Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine

L'OTHU est un laboratoire de recherche hors murs, reposant 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 d'assainissement.

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 13 équipes de recherche lyonnaises, 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 Environalp, qui structure, autour de grands équipements, la recherche régionale dans le domaine de l'environnement pour le développement durable.

Enfin l'OTHU est fondateur d'HURRBIS - Réseau des Observatoires Français en Hydrologie Urbaine, qui réunit depuis 2008, OPUR en Région parisienne, OTHU sur le Grand Lyon, et SAP sur Nantes Métropole.

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 à cette occasion ses fiches techniques. Elles sont réalisées avec le concours du CERTU. Elles regroupent les résultats marquants et opérationnels obtenus au cours des dernières années de recherche.

Objectifs de la journée

L'objectif de cette 4^{ème} journée technique est de diffuser les avancées et acquis dans le cadre de l'OTHU sur les rejets urbains de temps de pluie et leurs impacts sur les milieux récepteurs (eaux de surface et eaux souterraines) et de permettre aux acteurs opérationnels de bénéficier de ces connaissances le plus directement possible.

Les principaux résultats pratiques et opérationnels présentés lors de cette journée concernent notamment la pluie en milieu urbain, les techniques météorologiques et l'utilisation des données produites, les flux d'eau et de polluants générés par la ville et leurs impacts sur les milieux récepteurs.

Chaque thème fait l'objet de deux types d'interventions : une présentation des résultats de recherche par des chercheurs et une mise en perspective par rapport aux besoins opérationnels par des acteurs de terrain.

Programme

-- [9H00] -- **ACCUEIL**

-- [9h30] -- **OUVERTURE**

Par un représentant du Grand Lyon

-- [9h45] -- **L'OTHU : Pourquoi ?**

Sylvie BARRAUD, INSA de Lyon /
UCBL Lyon I - Directeur de l'OTHU

1 Pluie et ville

-- [10h10] -- **Caractériser la pluie et sa dynamique sur une agglomération**

Jacques COMBY, Florent RENARD UJM Lyon 3
Bernard CHOCAT, INSA de Lyon

Mise en perspective & Discussions :
Emmanuelle VOLTE, Grand Lyon

2 Métrologie et gestion des systèmes

-- [10h40] -- **Qualité chimique des eaux Application de la DCE : développement d'un Microsystème de mesure**

Philippe NAMOUR, UCBL Lyon I/ CEMAGREF de Lyon - Nicole JAFFREZIC, UCBL Lyon I

-- [11h10] -- **Acquisition de données en continu: équipements, procédures, exemples de résultats**

Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI,
Gislain LIPEME KOUYI, INSA de Lyon

Mise en perspective & Discussions :
Claire GIBELLO, Grand Lyon

-- [12H00] -- **DEJEUNER**

3 Apport des bassins versants : impacts et protection des milieux

-- [13h35] -- **Quoi de neuf dans les eaux pluviales: les substances prioritaires de la DCE**

Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI, Céline BECOUZE, Abel DEMBÉLÉ, INSA de Lyon
Marina COQUERY, CEMAGREF de Lyon

-- [14h10] -- **Infiltration des eaux pluviales: apports, impacts, préconisations**

Sylvie BARRAUD, INSA de Lyon/ UCBL Lyon 1
Cécile DELOLME, Thierry WINIARSKI, ENTPE
Florian MALARD, UCBL LYON 1

Mise en perspective & Discussions : Martine LAMI, Agence de l'eau RM&C - Isabelle SOARES, GRAND LYON

-- [15H00] -- **PAUSE**

-- [15h15] -- **Schéma méthodologique pour la gestion des petits cours d'eau périurbains**

Laurent SCHMITT, Université Lyon 2 / CNRS-
Isabelle BRAUD, Pascal BREIL, Michel LAFONT,
CEMAGREF de Lyon

-- [16h00] -- **Rejets urbains : risques sanitaires et écologiques**

Apports de la microbiologie et de l'écotoxicologie : approches prospectives
Benoit COURNOYER, UCBL Lyon 1 / EVL / CNRS
Yves PERRODIN, ENTPE

Mise en perspective & Discussions :
Stéphane GUERIN, SAGYRC

4 10 ans et après

-- [16h35] -- **Pour le développement d'approches plus stratégiques, d'une gestion plus globale et de meilleures pratiques: recherche en cours et perspectives**

Sylvie BARRAUD, INSA de Lyon
Jean CHAPGIER, GRAND LYON

-- [17h00] -- **Synthèse**

-- [17H15] -- **FIN DE LA JOURNEE**

L'OTHU: Pourquoi ?

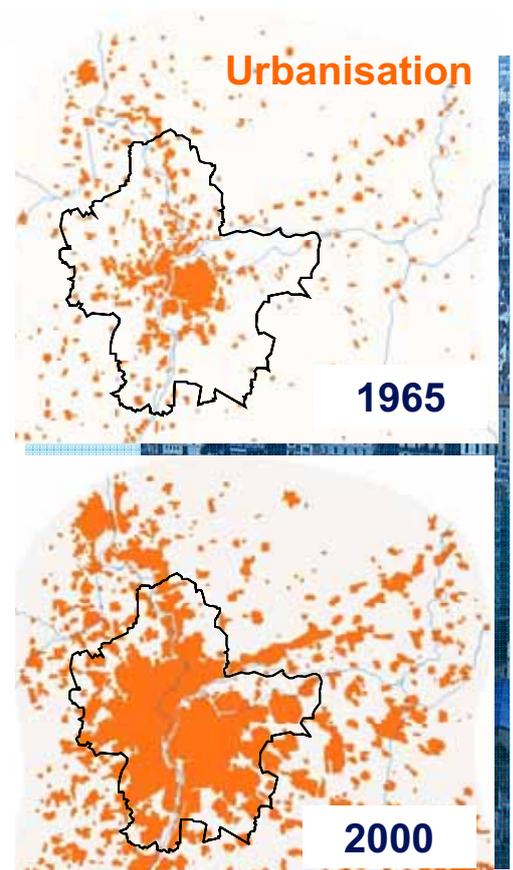
Sylvie BARRAUD -Directeur de l'OTHU,
INSA de Lyon

L'OTHU Pourquoi ?

Sylvie Barraud
INSA Lyon / Université Lyon I
Directrice de l'OTHU

Contexte : La ville & son développement

- En France :
 - 76 % population en zone urbaine sur
 - 18 % du territoire
- Au niveau mondial
 - 50 % population en zone urbaine





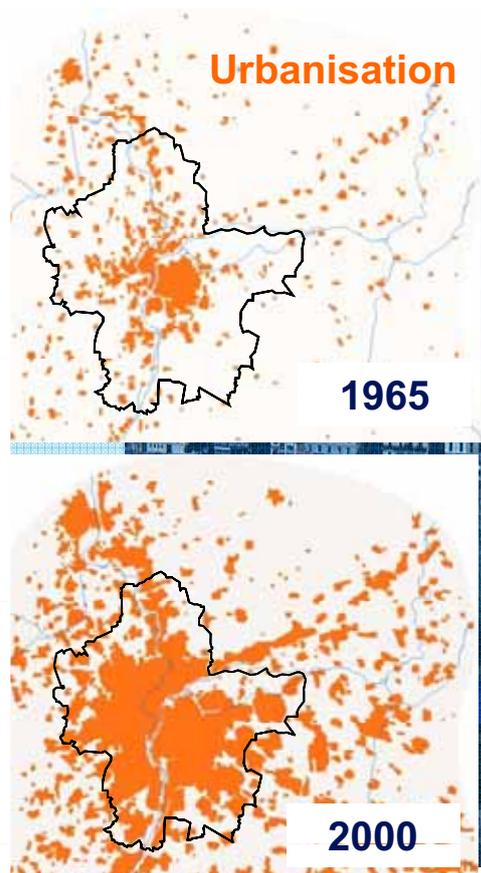
Contexte : La ville et son développement

Concentration

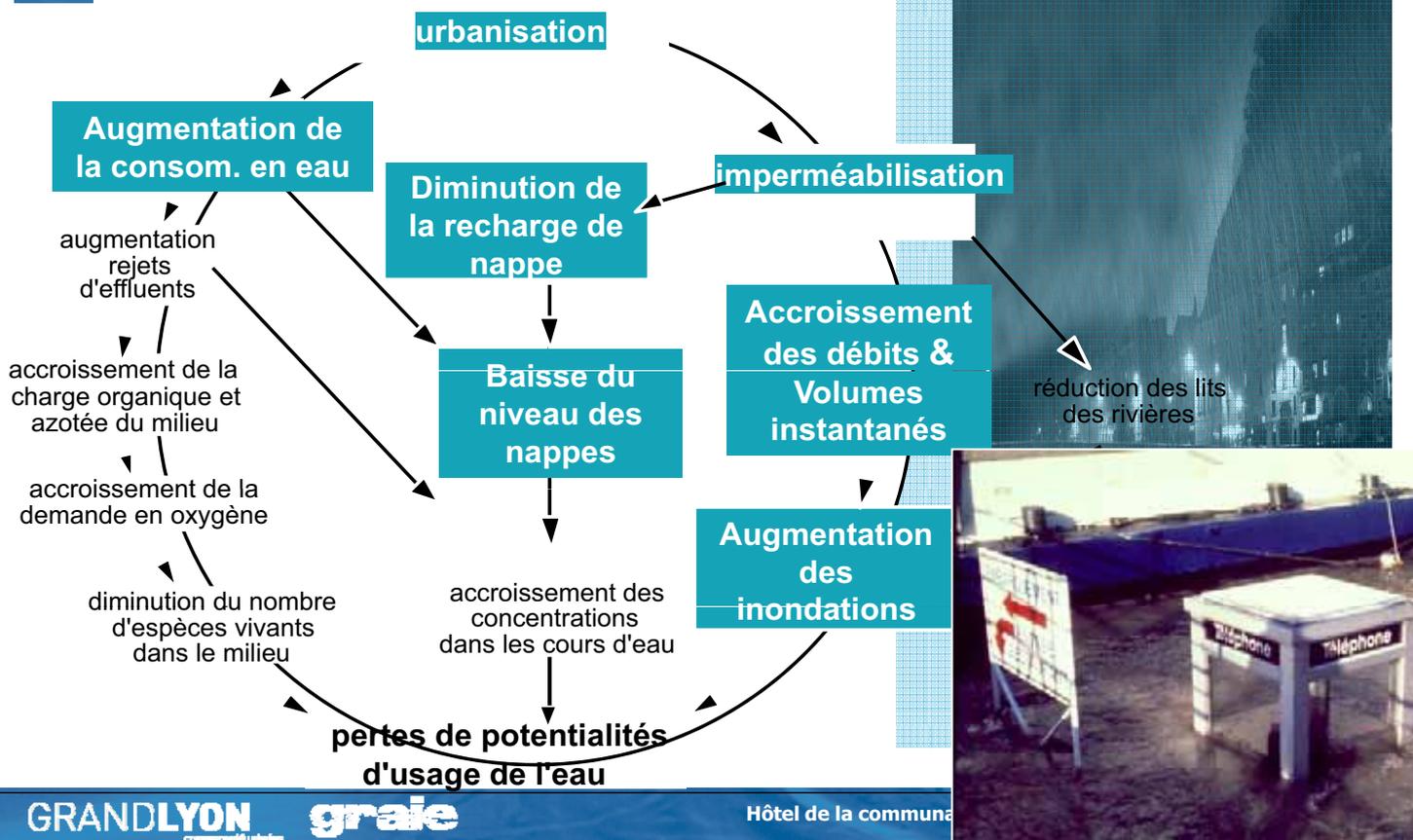
- de population
- d'activités
- de biens ...

Dysfonctionnement / Risque

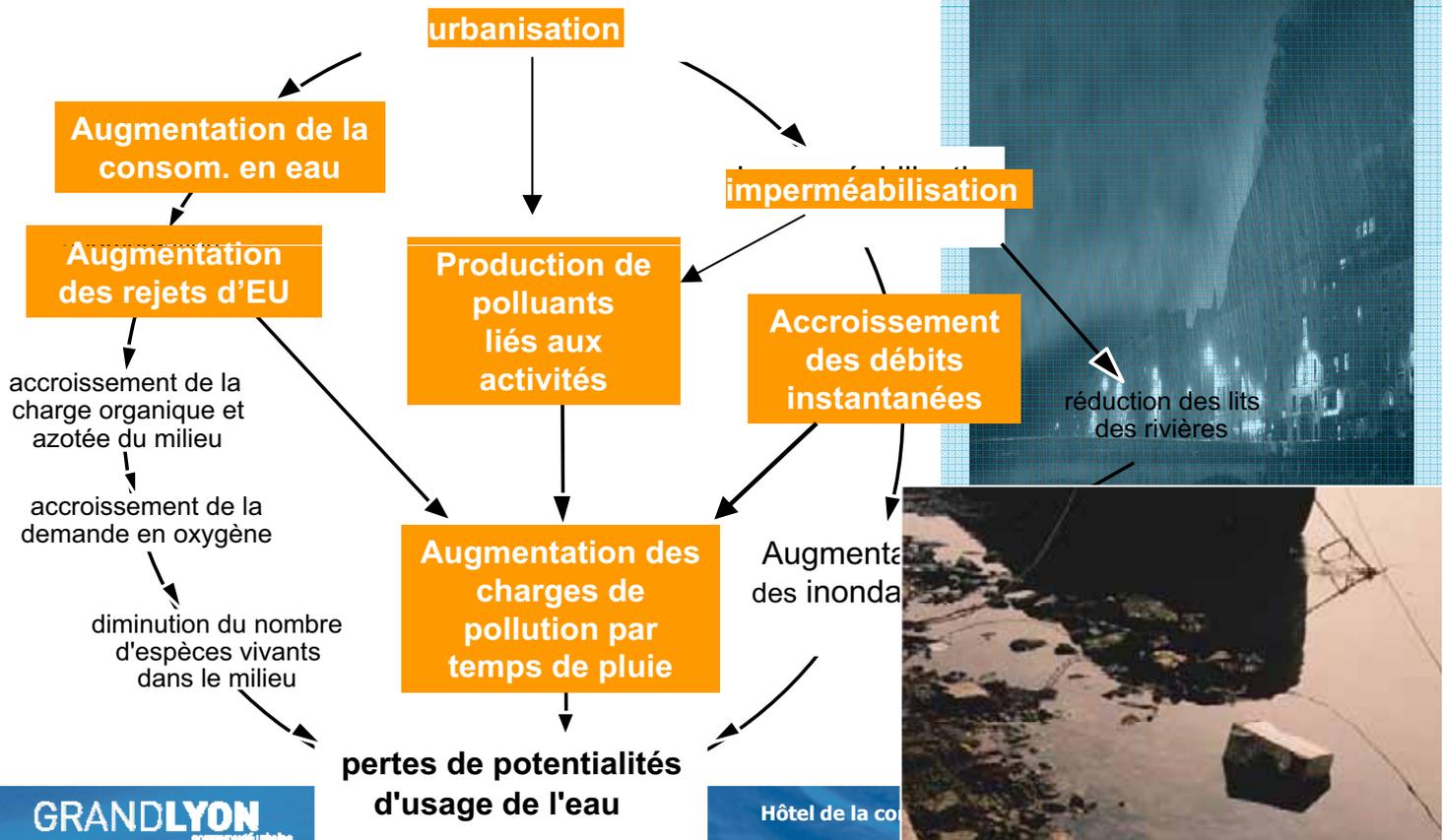
Espace vulnérable



Quand il pleut sur la ville ...

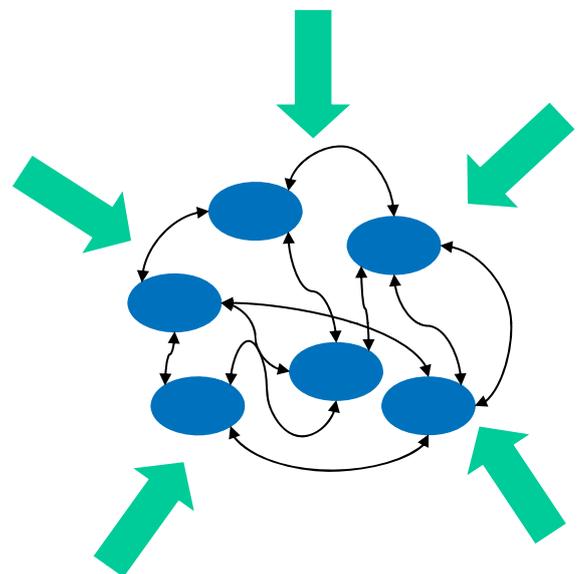


Il pleut sur la ville ...



Systèmes complexes

- Tant par les structures tout au long du cycle de l'eau
 - BV,
 - Infrastructures,
 - Milieux, ...
- que par les phénomènes
 - Naturels
 - Anthropiques
- que par leurs interactions

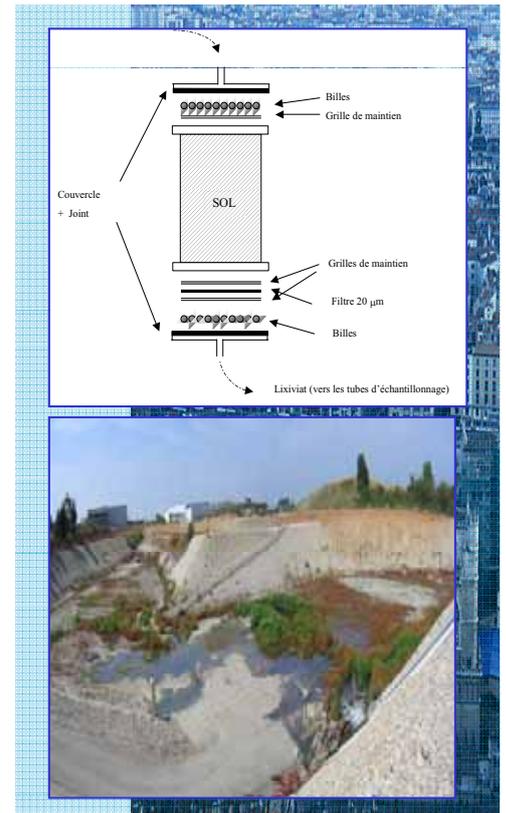


Tout est lié !

Les initiatives antérieures pour avancer

- Les expérimentations de laboratoire
 - 🟢 Milieu modèle / Effluent modèle
 - 🟢 Permet de comprendre / reproduire des mécanismes
 - 🟢 Conditions trop peu réalistes / Forte monodisciplinarité

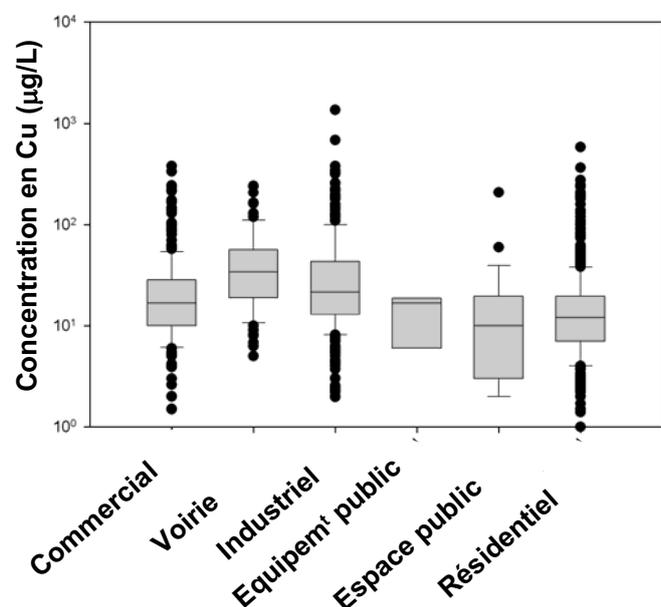
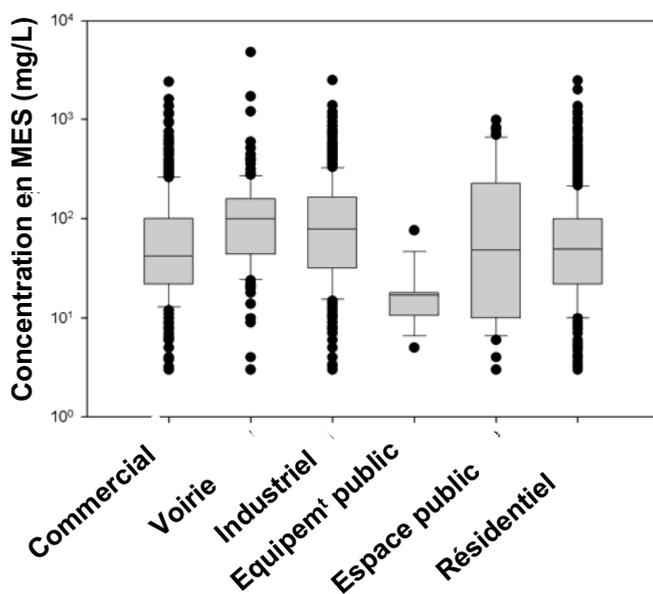
- Les campagnes de mesures ponctuelles (courtes durées)
 - 🟢 Pièze prise en compte de l'évolution temporelle
 - 🟢 Faible diversité des événements
 - 🟢 Encore très monodisciplinaire
 - 🟢 Peu de moyens > résolution spatiale pas toujours adaptée / pièze fiabilité



nauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009

Les initiatives antérieures pour avancer (suite)

- Les programmes avancés d'expérimentations
 - 🟢 NURP (National Urban Runoff Program) / NSQD (National Stormwater Quality Database)



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

Nécessité de disposer de :

D'un lieu de production des connaissances de bonne qualité

- **Système d'observation en condition réelle / couplable à des approches « labo »**
 - Meilleure compréhension des propriétés émergentes, facteurs principaux
- **Systèmes métrologiques pérennes / suivis en continu**
 - meilleure appréhension des dynamiques, diversité de situations & long terme
- **Vision plus complète et plus globale des systèmes**
 - des mécanismes générateurs, aux impacts sur les milieux
- **Vision pluri/interdisciplinaire intégrant toute forme de savoirs**
 - (Connaissance opérationnelle experte / Savoir scientifique)
- **Données fiables qualifiées en terme d'incertitude**

D'un lieu pour poser les problèmes, transférer/valoriser les résultats, échanger

Partenaires

Scientifiques

Opérationnels

Valorisation
& Gestion



1
9
9
9



Fédération d'équipes

- **CEMAGREF** : URHH, URQE, URBEA
- **ENTPE** : L.S.E.
- **INSA** : LGCIE, EDU- EVS, LMFA
- **Univ. LYON I** : LGCIE, HBES, LSA, **BPOE**
- **Univ. LYON II** : LRGE
- **Univ. LYON III** : LCRE
- **BRGM**
- **ECL**: LMFA
- **EVL**

- Climatologie
- Hydrologie,
- Hydraulique / Méca fluide
- Hydro-
- morphologie
- Biologie,
- Hydrobiologie
- Microbiologie,
- Santé
- Chimie
- Géologie
- Science du sol
- Sociologie / DU

Objectifs :

Observer sur le long terme et mieux connaître le cycle urbain de l'eau pour agir

Mesurer et modéliser

- les flux d'eau et de polluants en milieu urbain / périurbain :
 - mécanismes générateurs
 - dynamique des flux
 - effets sur les rivières ou nappes
- l'efficacité des systèmes d'assainissement (syst. décantation /infiltration)

Améliorer les pratiques

- Suivi métrologique (surveillance)
 - Procédures, capteurs
- Conception & gestion des ouvrages / Gestion de la ville
- Outils d'aide à la décision

Programme
finalisé 
co-construit
(2005-2009)

Sous programme n°1 :
Développement d'un modèle intégré du cycle urbain de l'eau

Sous Programme n°2 :
Amélioration de la connaissance locale de la pluie

Sous Programme n°3 :
Gestion des déversoirs d'orage

Sous Programme n°4 :
Gestion des rivières périurbaines

Sous Programme n°5 :
Développement de méthodes de conception, construction et exploitation des systèmes de rétention / infiltration

Sous Programme n°6 :
Améliorer la protection des ressources en eau de l'agglomération lyonnaise

Sous Programme n°7 :
Météorologie



Sites

- 1 BASSIN YZERON
- 2 ECULLY
- 3 LYON CENTRE
- 4 IUT – la DOUA
- 5 CHASSIEU

BV urbain résidentiel
Rés. Unitaire
Rejet par DO

BV urbain tertiaire
Rés. Sép. Pluvial BI
Impact nappe peu prof.

BV urbain dense
Rés. unitaire+
plusieurs DO Rhône

BV périurbain
Rés. Unitaire
Rejet par DO
Impact rivière

BV urbain industriel
Rés. Sép. pluvial+
BR + BI
Impact nappe prof.

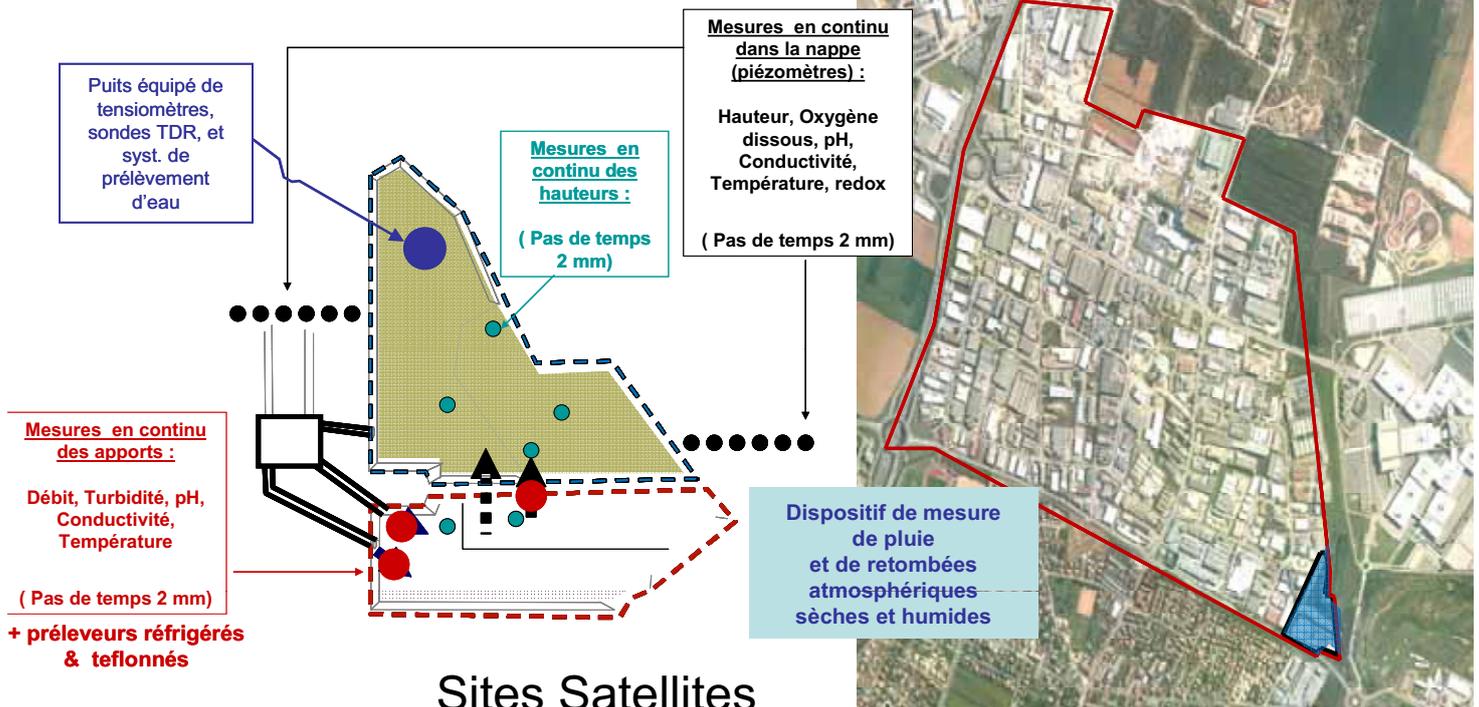
+ Sites Satellites

- Diversité : des situations physiques, des types de BV et d'activités, des systèmes de gestion des EP, des types de milieux
- Dynamiques d'observations adaptées aux phénomènes
- Données en continu (pas de temps de 2 min à 1h suivant grandeurs)
plus de 20 millions de données élémentaires en moins de 3 ans

10ans

OTHU

Par exemple



Sites Satellites / Atelier

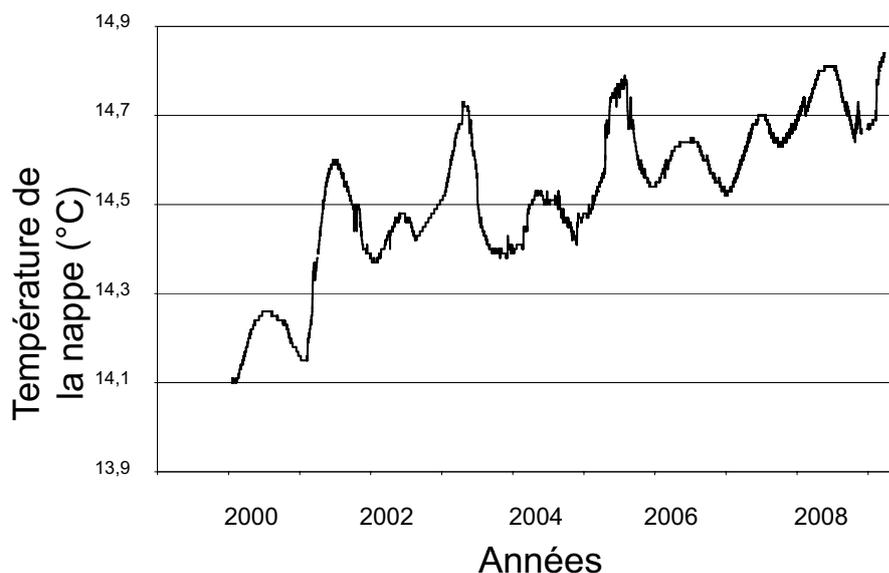
Par exemple (suite)

Avancées scientifiques ...

- Quelques certitudes sur le transfert de certains polluants
- Quelques certitudes sur la localisation de l'accumulation de certains polluants
- Des méthodes permettant la mesure de l'évolution et le suivi du colmatage
- Quelques certitudes concernant l'impact sur la nappe (perturbations biologiques- chimiques & physique notamment sur le régime thermique)
- Quelques avancées en matière de gestion et de traitabilité des sédiments
- Des tests de matériaux d'interface
- Des indicateurs de décision et des MMAD permettant de choisir des stratégies d'infiltration et suivre des systèmes en place
- ...

Evolution de la température de nappe

Piézomètre amont, D. Reinhardt



F. Malard, A. Foulquier

« Suivi permet de recueillir des observations « intentionnelles » et « non intentionnelles »



<http://www.othu.org>



Caractériser la pluie et sa dynamique sur une agglomération

Jacques COMBY, UJM Lyon 3
Bernard CHOCAT, INSA de Lyon

Caractériser la pluie et sa dynamique sur une agglomération

J.Comby, F.Renard : UJM Lyon 3
B.Chocat : LGCIE ; INSAL
E.Volte : Direction de l'eau, Grand Lyon

Résumé des travaux effectués

- **Action 2 : Caractérisation de la pluie et de sa dynamique sur l'agglomération lyonnaise (Univ. Lyon 3)**
 - Analyses des mesures au sol (pluviomètre)
 - Evaluation de la qualité de la mesure radar et du couplage pluviomètre/radar
 - Dynamique des pluies et possibilités de prévision
 - Typologie des pluies et dysfonctionnement du réseau : mise en relation de l'aléa pluviométrique avec les débordements
- **Action 1 : Développement d'outils de couplage des données au sol et des données radar utilisables sur Canoe (INSA/Univ. Lyon 3)**
- **Action 3 : Construction de chroniques de pluies représentatives (INSA)**
- **Action 4 : Simulation des pluies : sélection d'une famille minimale d'événements, représentative de l'aléa hydrologique (Cemagref)**



Plan de présentation

amélioration de l'utilisation des données

- Intérêt du couplage données au sol – données radar
- Exemple de résultats

dynamique des pluies

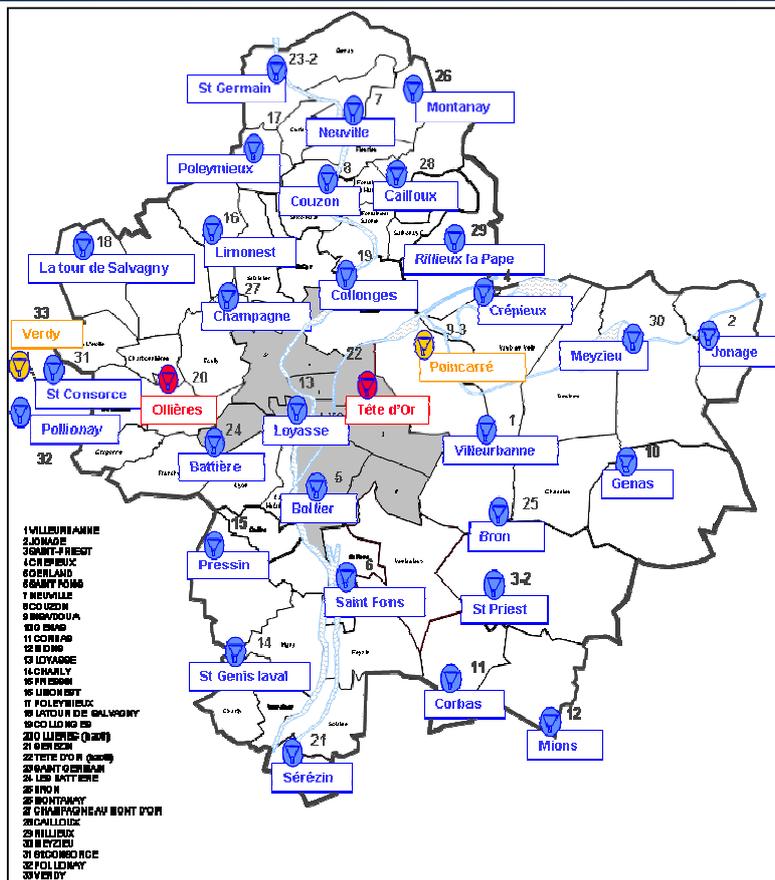
- dynamique des pluies à l'échelle régionale : trajectoires préférentielles, taille et vitesse des cellules, effets du relief
- illustration à l'échelle locale



Amélioration de l'utilisation des données

Données disponibles:

- Données pluviométriques au sol depuis 1985
- Données radar

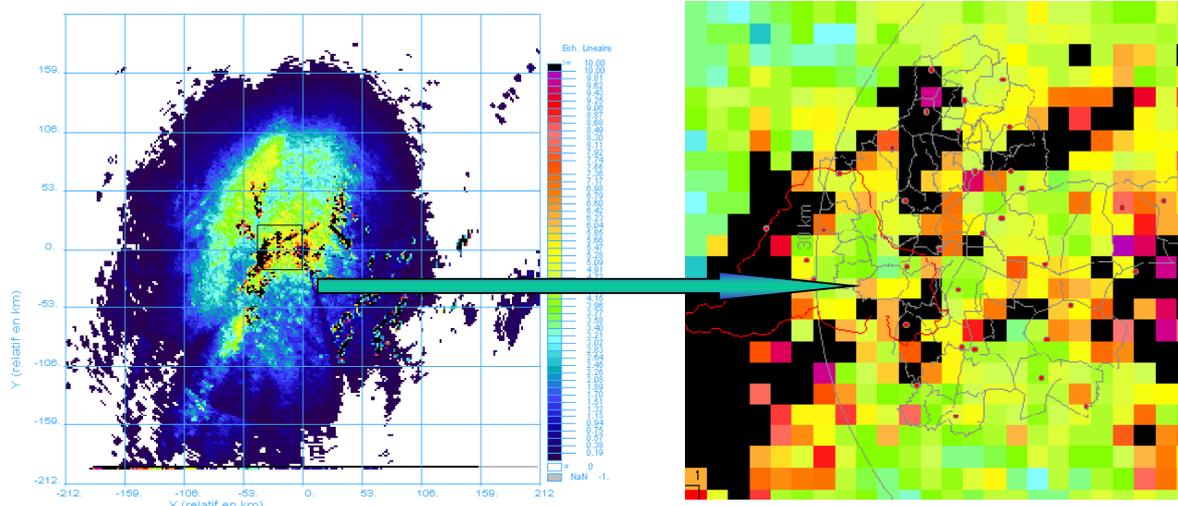


Disponibilité des données radar

- Période 1993-2001 : Données de Satolas
- Depuis mai 2001 : Données de St Nizier

Données de Satolas (réflectivité radar instantanée période 1993 – 2001)

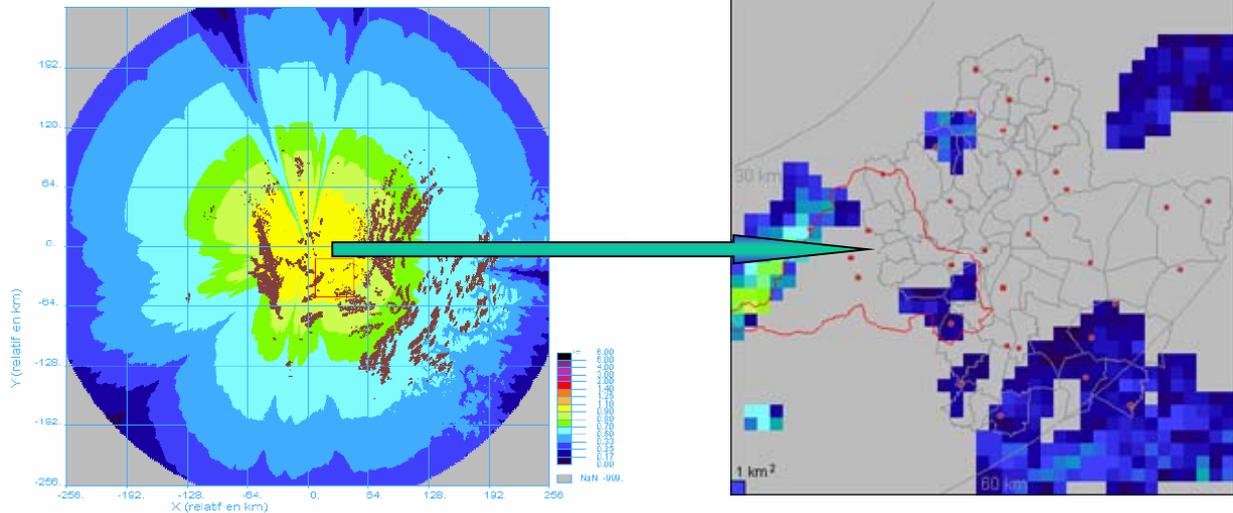
très difficilement utilisables en raison de fort échos de sol



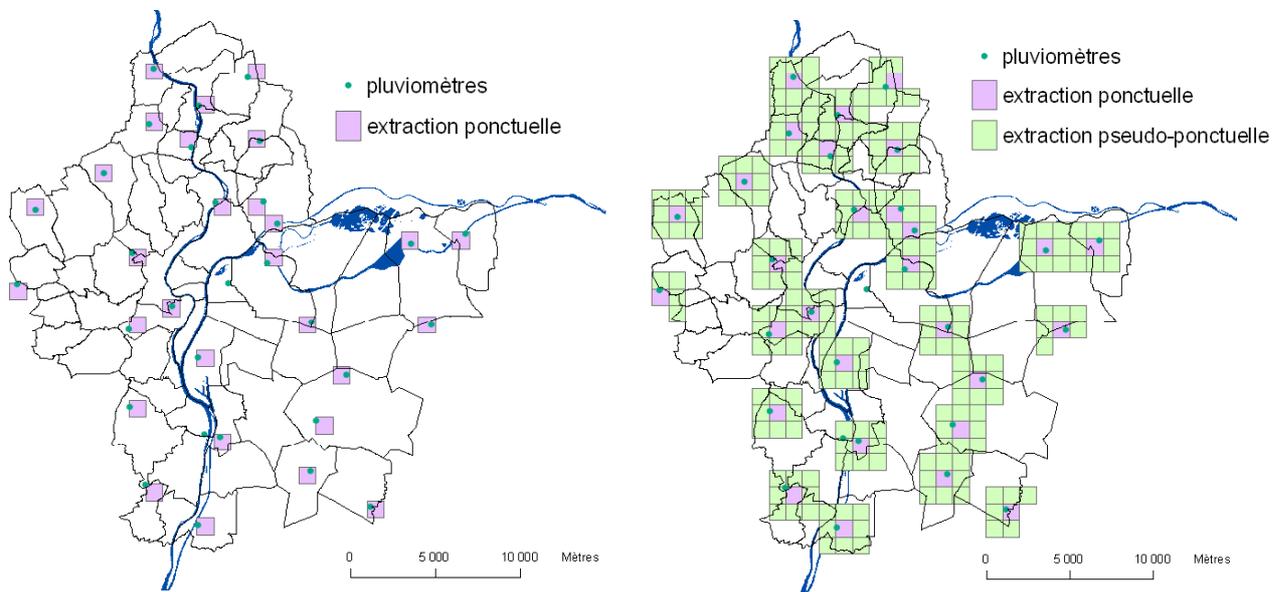
Exemple : Cumul des données de réflectivité radar instantanée du 22/09/1993

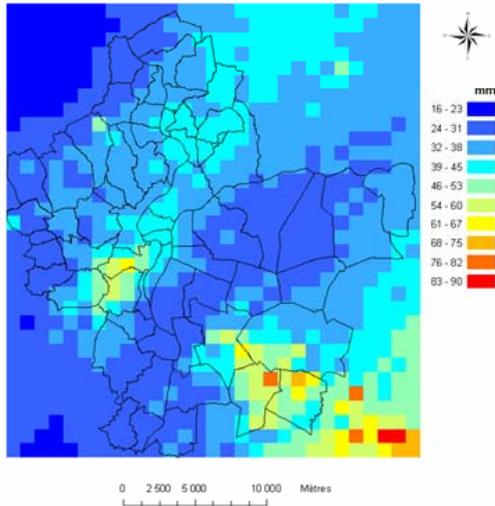
Données de St Nizier (depuis 2001)

- Globalement Lyon dans une zone d'excellente visibilité du radar
- Nombre significatif de pixels avec une qualité de mesure réduite en raison d'échos de sols

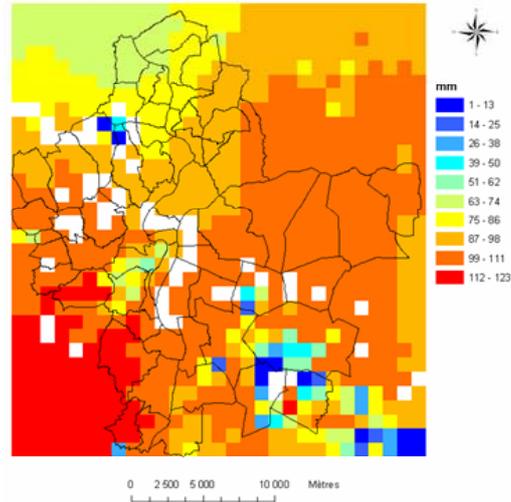


Comparaison fine ponctuelle pluviomètre / pixel radar sur les hauteurs d'eau





Cumul pluviométrique de l'épisode du 1er mai 2002

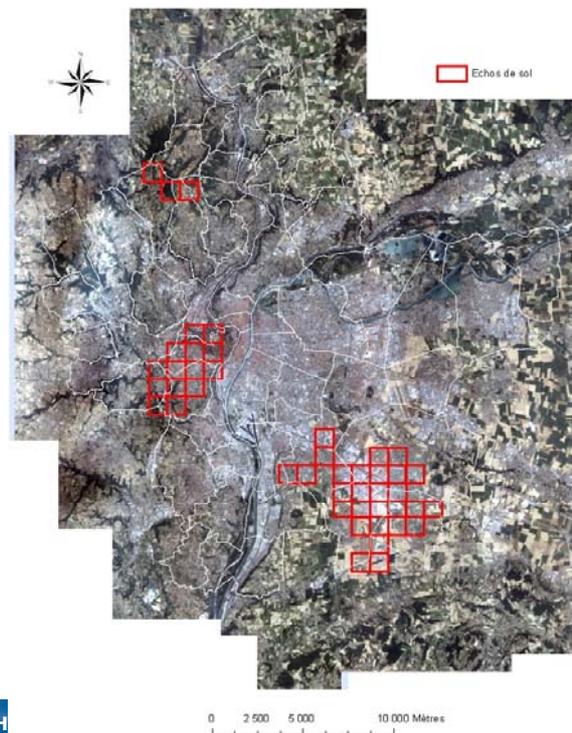
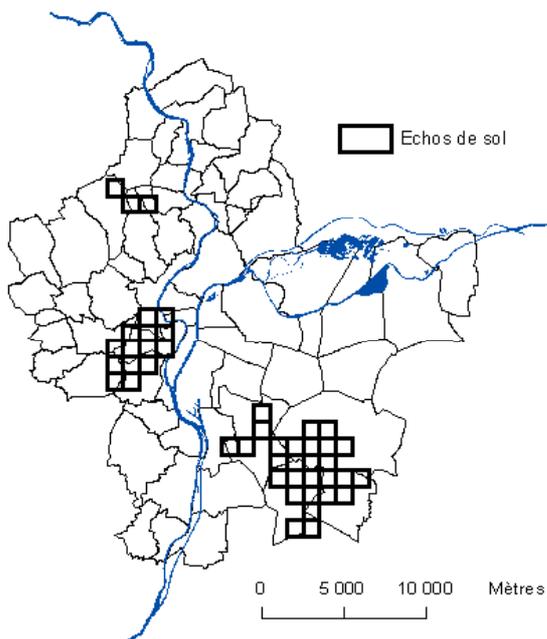


Cumul pluviométrique de l'épisode du 1er décembre 2003

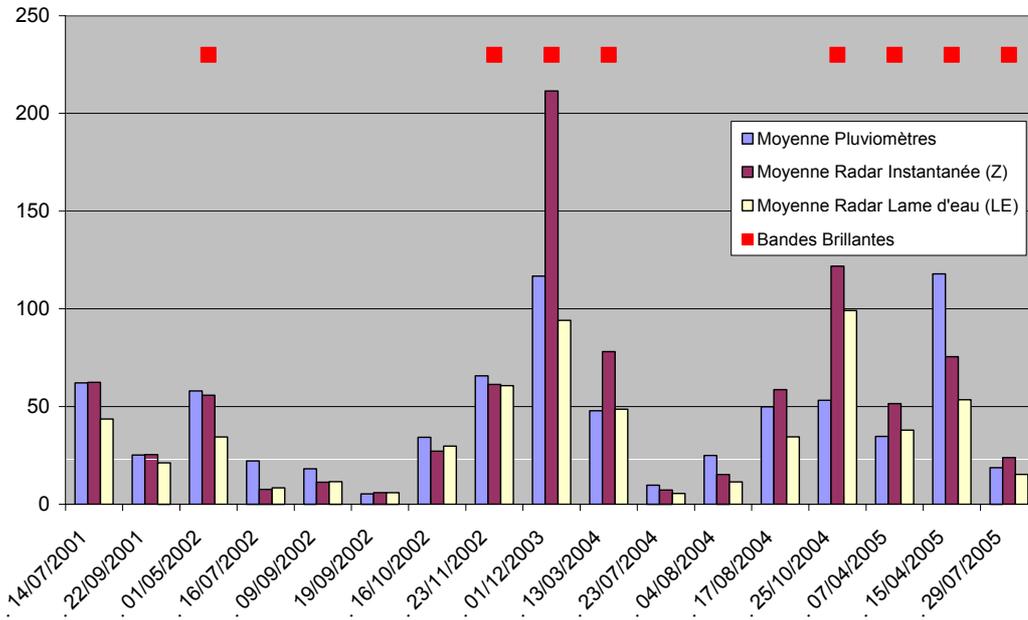
Valeurs de cumuls pluviométriques peuvent être soit fortement surestimées (absence de filtrage) soit sous estimées (action trop radicale du filtre).



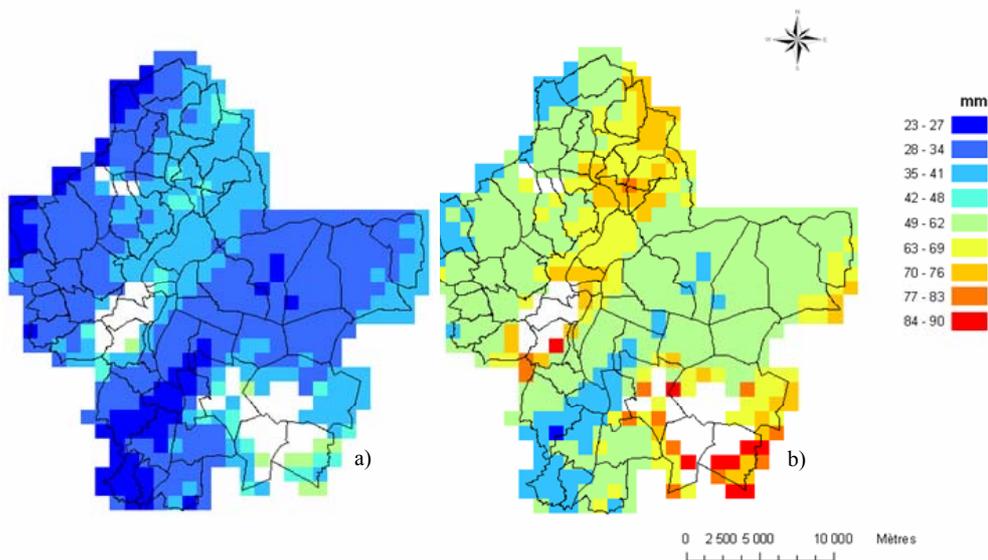
Zones affectées



Cumul radar et pluvio peuvent être différents



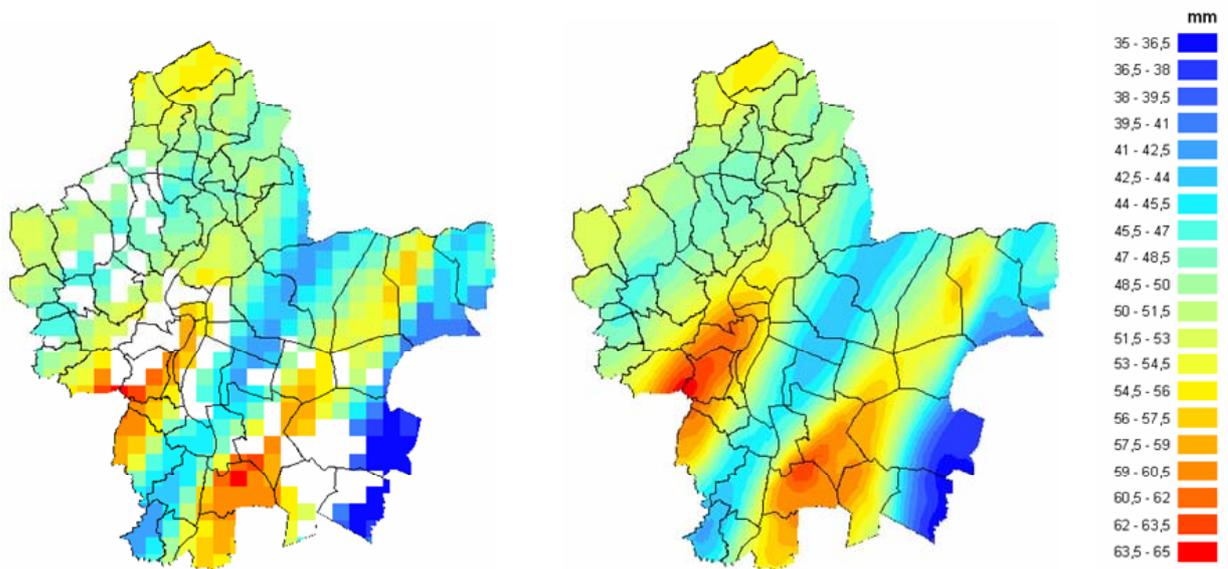
Application d'un coefficient correctif global



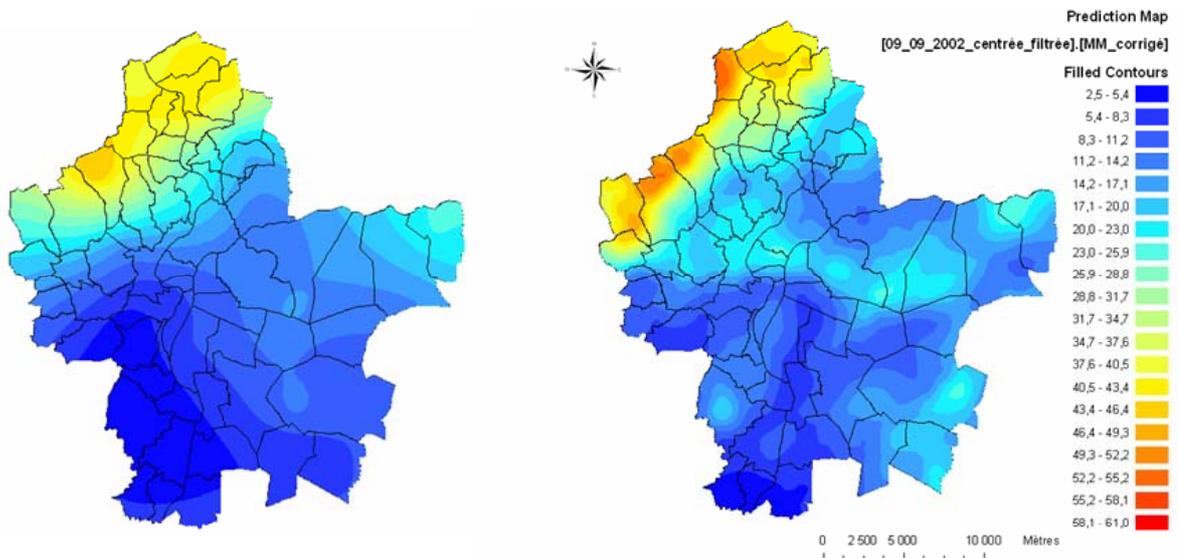
Cumul des lames d'eau radar de l'épisode du 1er mai 2002 non remis à niveau (a), puis remis à niveau (b) à l'aide d'un facteur correctif issu des pluviomètres du Grand Lyon

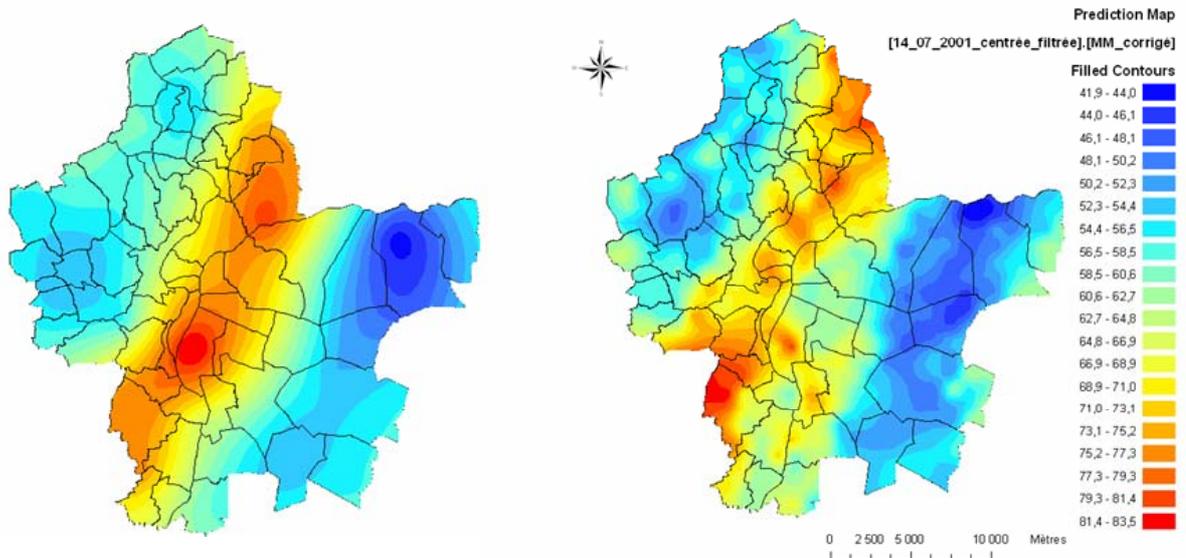
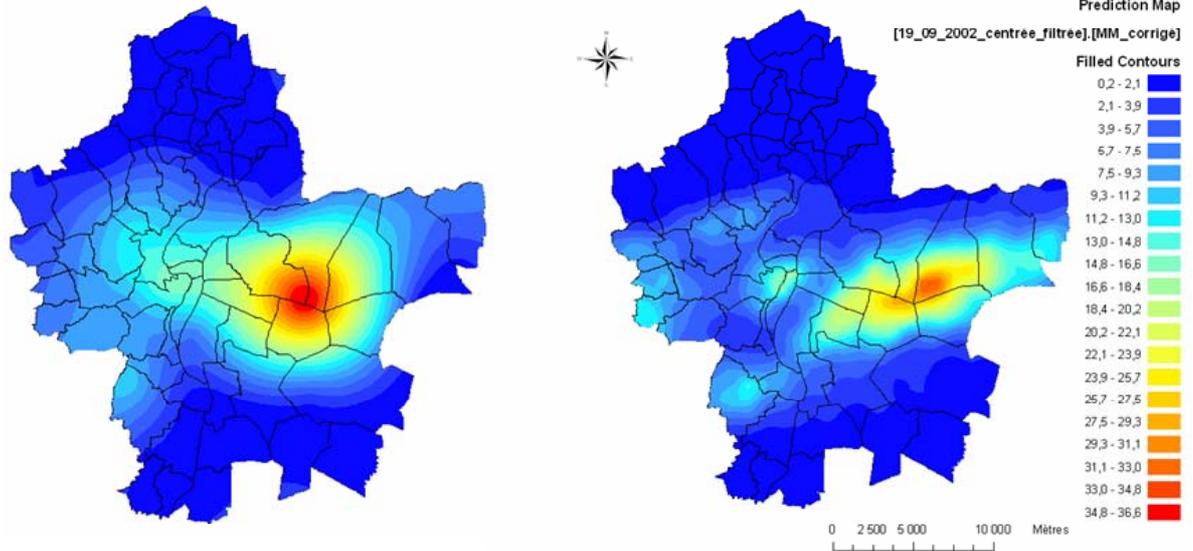


Interpolation des valeurs absentes par krigeage



Comparaison avec les lames d'eau utilisant uniquement les pluviomètres

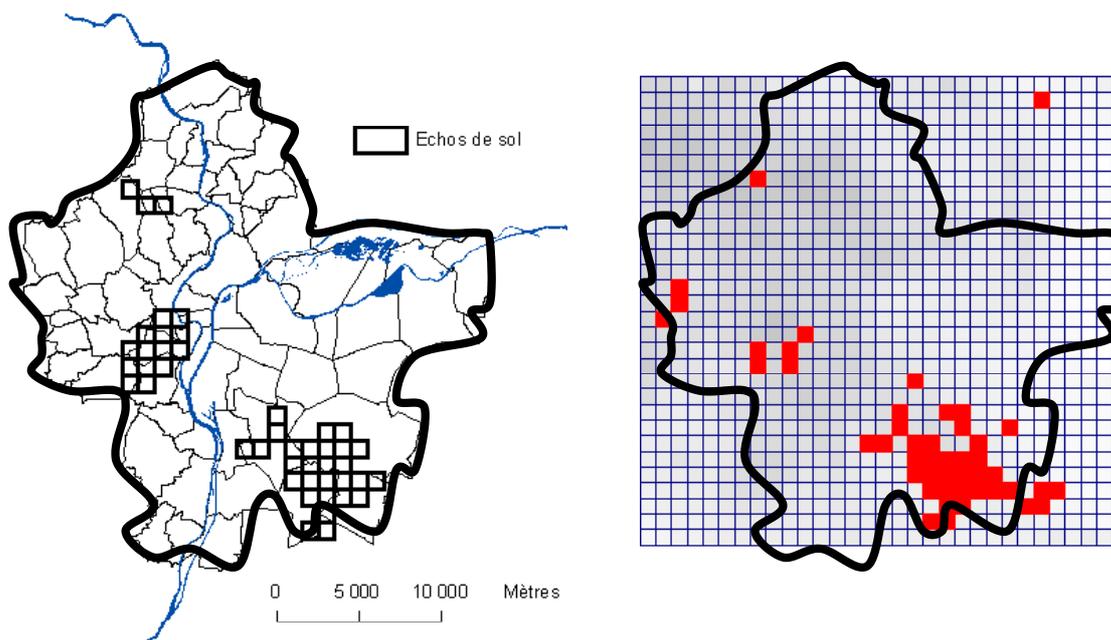




Couplage données radar-données au sol pour les intensités

- Développement d'une méthode spécifique de couplage et implantation dans CANOE
 - ◉ Détection automatique des pixels douteux
 - ◉ Nouvelle méthode de calcul des intensités associées aux niveaux de réflectivité
- Application aux pluies de 2005 et 2006

Détection des pixels défectueux



Recalibrage des niveaux de réflectivité radar

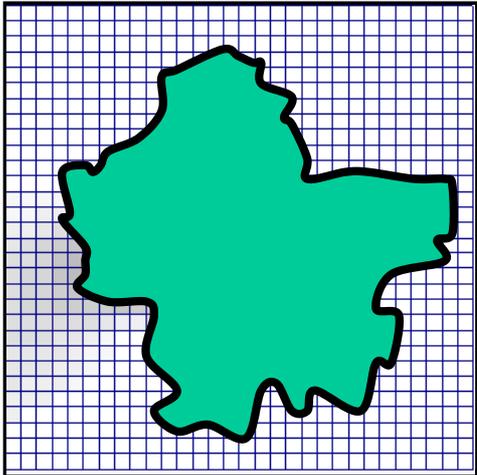
- **Classement fréquentiel des mesures radar sur les pixels portant des pluviomètres (DT=1mn)**
- **Classement fréquentiel des intensités mesurées sur les pluviomètres (DT = 1mn)**
- **Ajustement des intensités pour chaque classe de réflectivité en mettant directement en relation les mesures de réflectivité radar et les mesures d'intensité au sol qui correspondent aux mêmes fréquences empiriques de dépassement.**

Propriété fondamentale de l'ajustement utilisé:

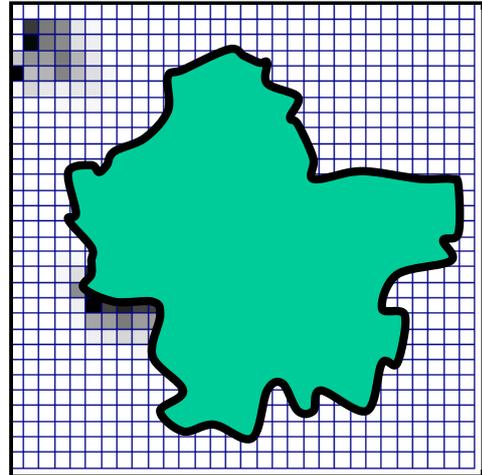
La moyenne des intensités supérieures à un seuil et mesurées par les pluviomètres est la même que celle calculée à partir des niveaux de réflectivité radar, ceci quel que soit le seuil.

Amélioration apportée par le radar

Pluviomètres seuls

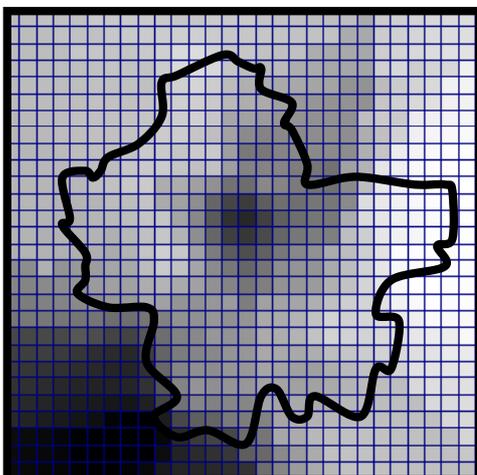


Pluviomètres + radar

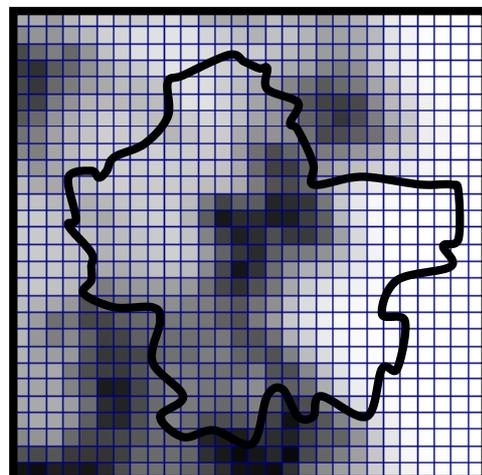


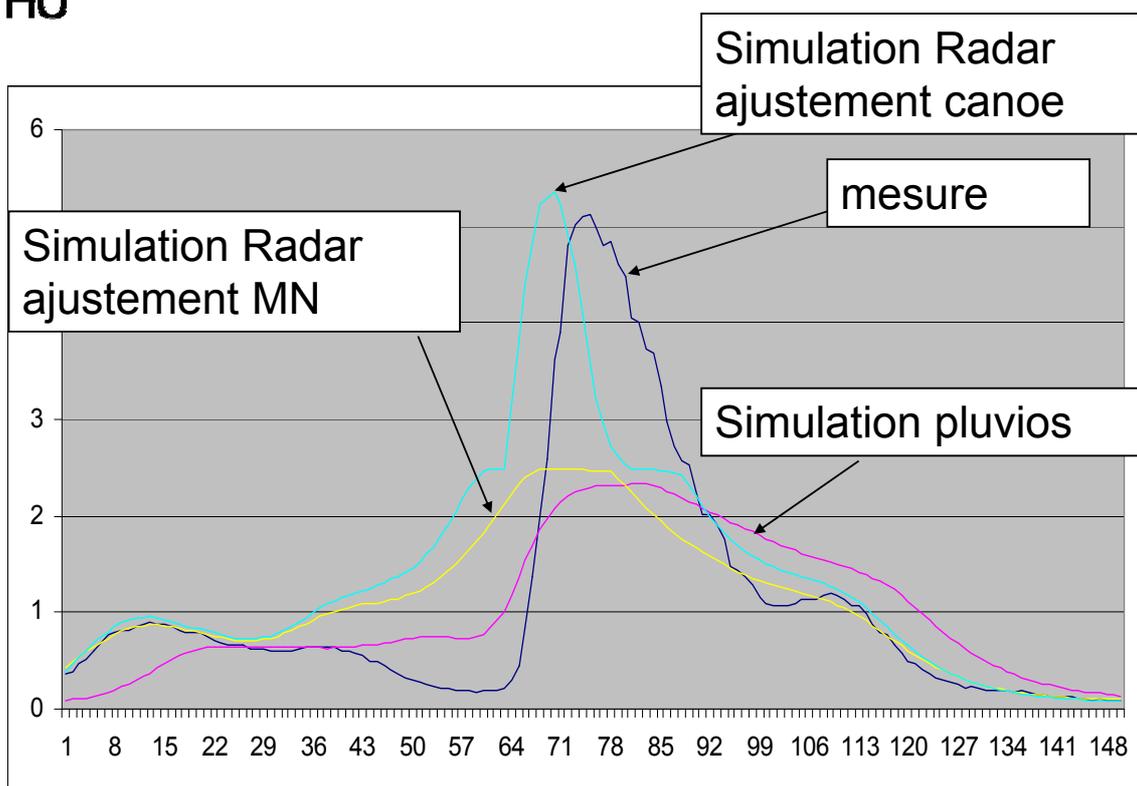
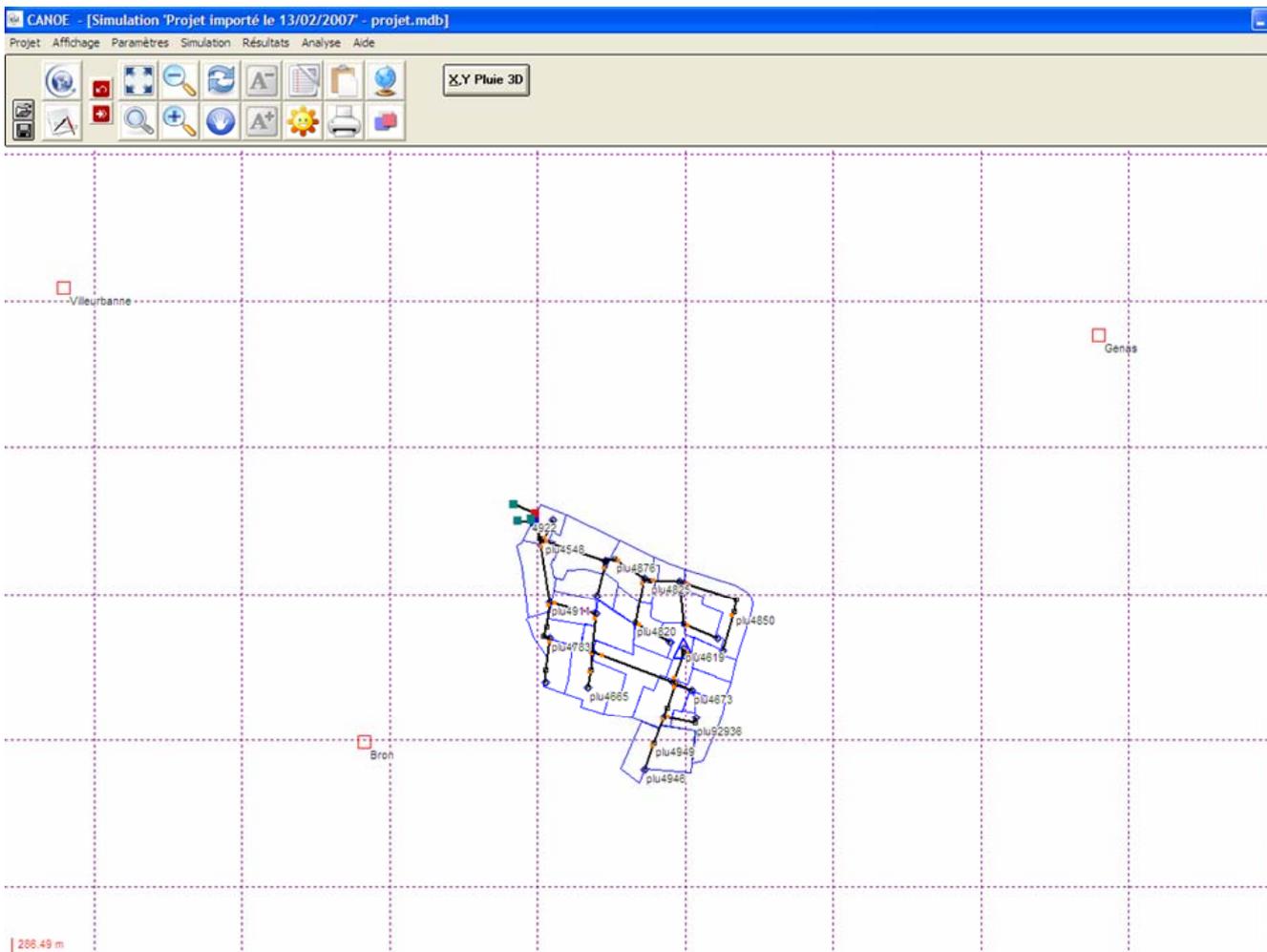
Amélioration apportée par le radar : cumuls

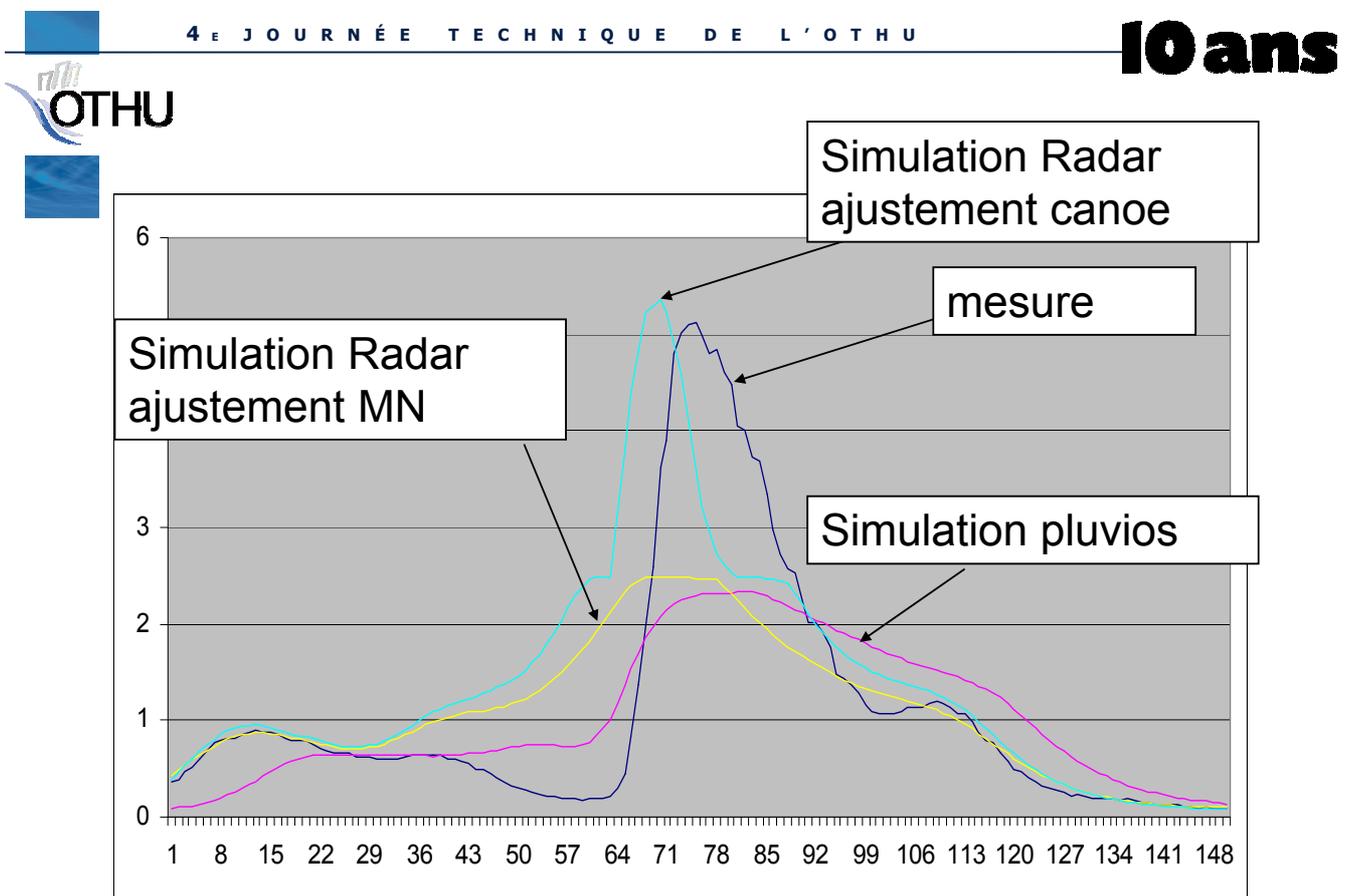
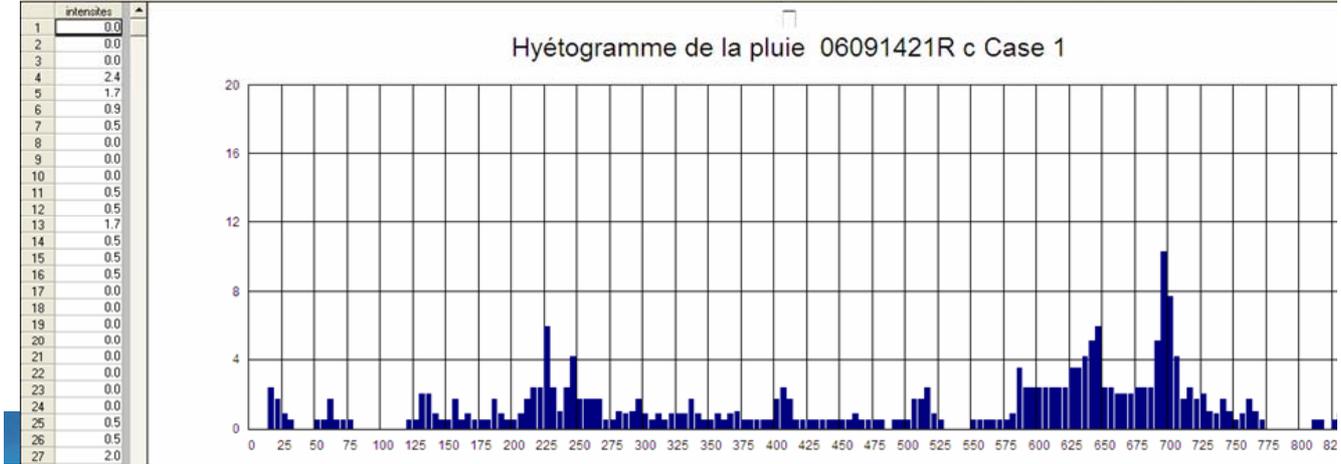
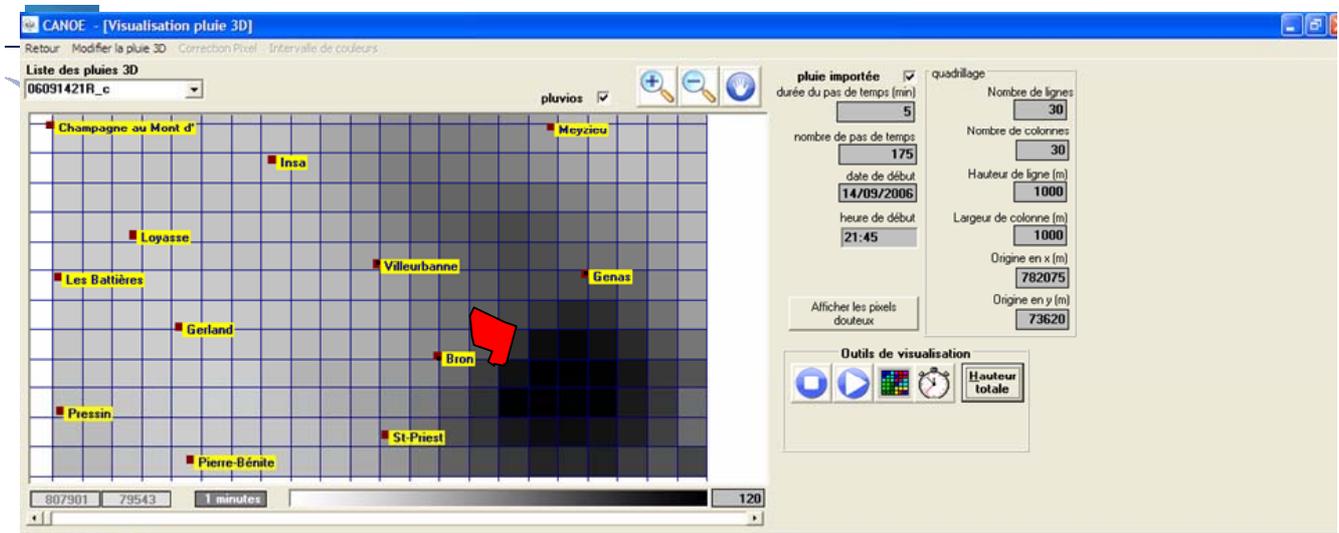
Pluviomètres seuls



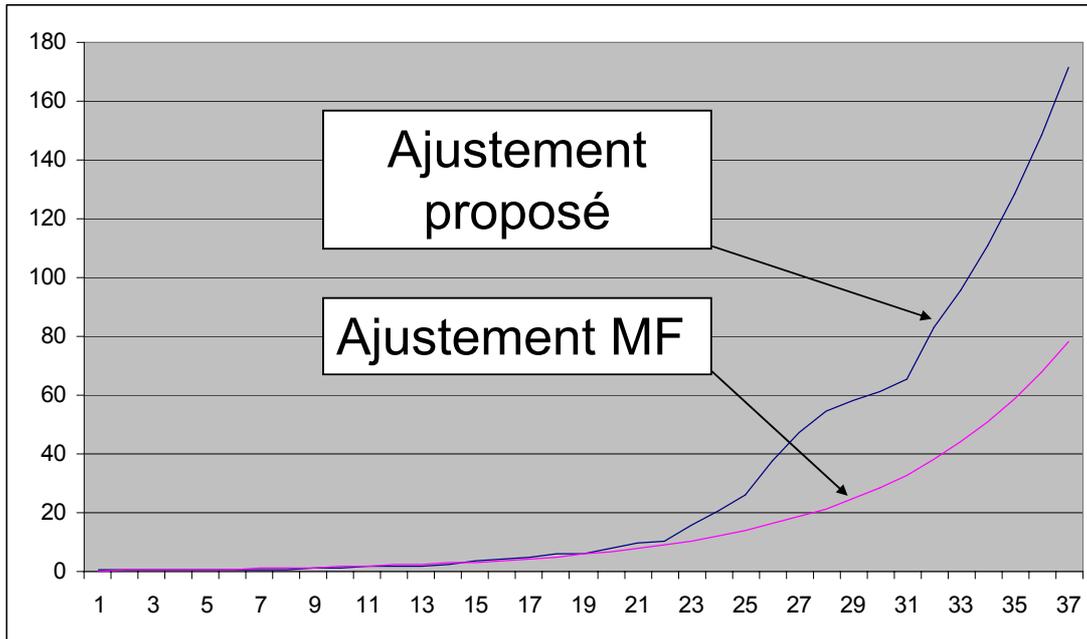
Pluviomètres + radar



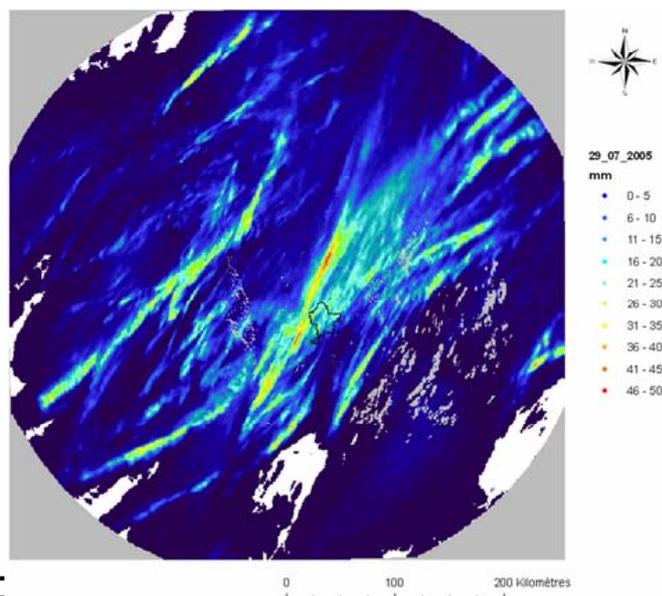




Relations entre niveau de réflectivité et intensité

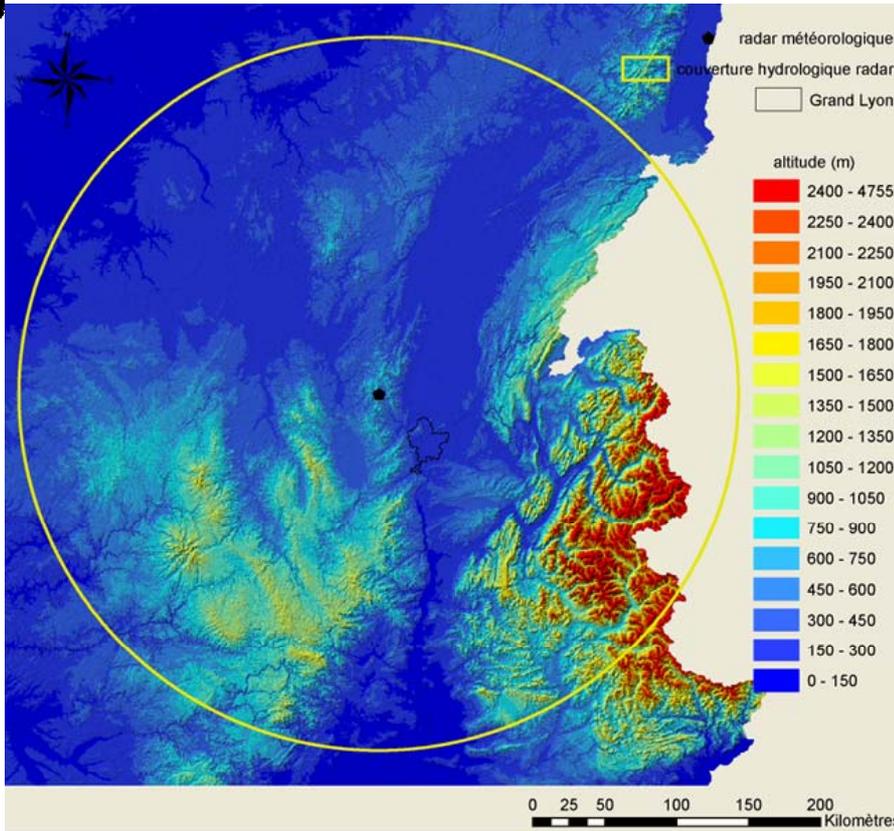


Suivi de caractéristiques de cellules de pluies intenses



Objectif de l'étude :

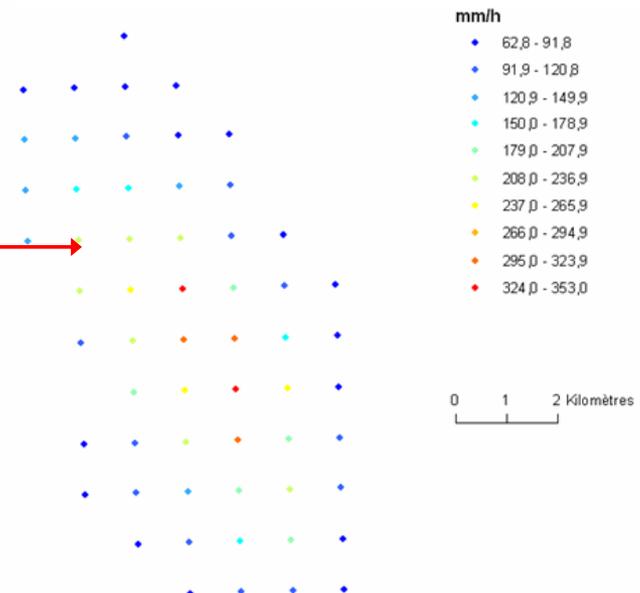
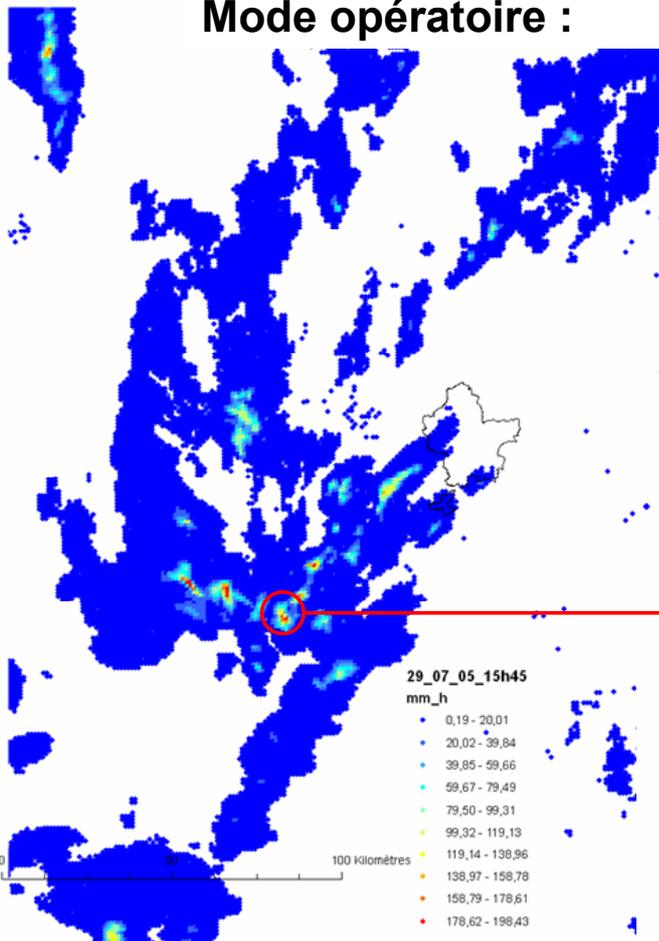
analyser **caractéristiques** cellules de pluies :
superficie, vitesse, orientation, intensité, etc.



Mode opératoire :

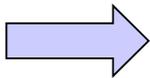
1. Identification et sélection de cellules de pluie intense
2. Analyse :

- *centre moyen pondéré*
- *ellipse de distribution directionnelle*
- *vecteurs de déplacement*



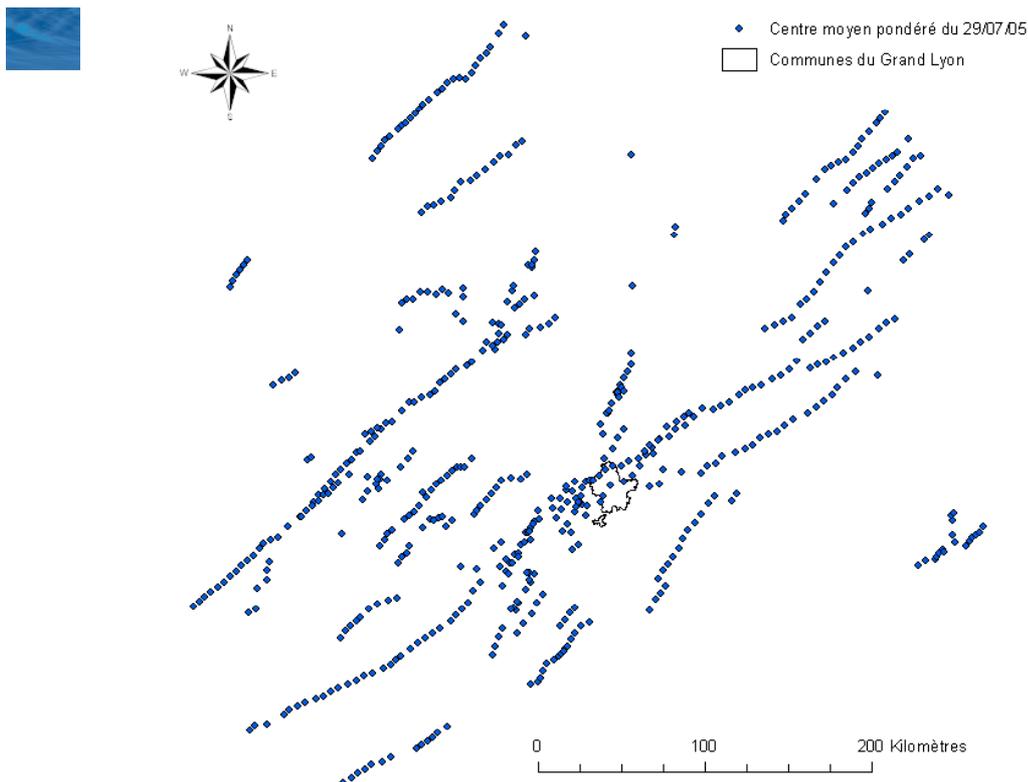
Synthèse des caractéristiques obtenus :

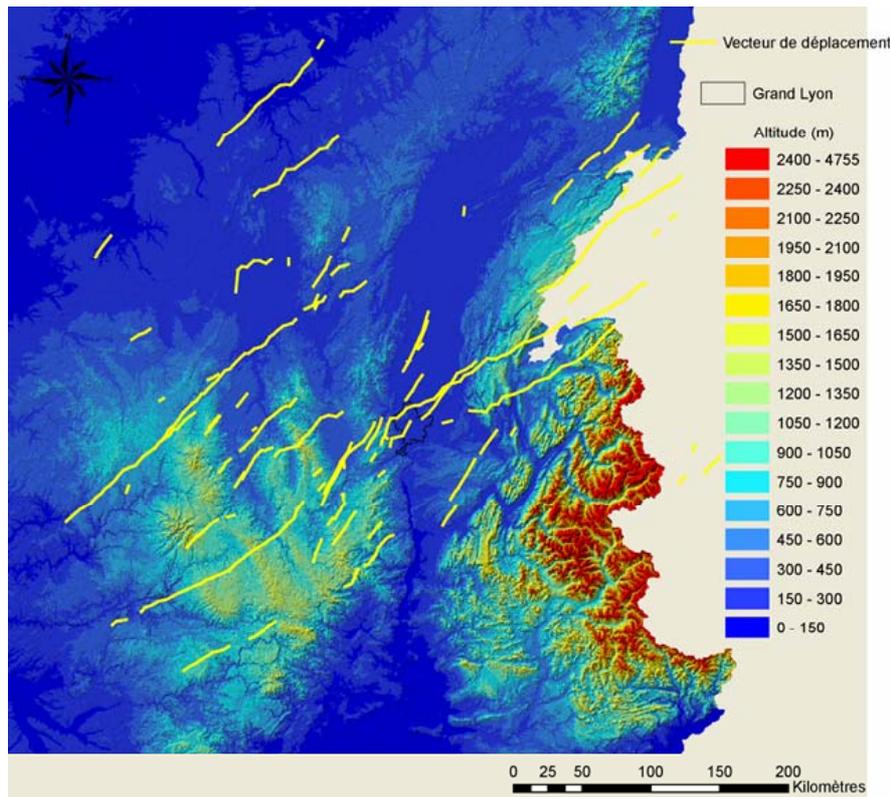
- Intensité moyenne (mm/h)
 - Intensité maximale (mm/h)
 - Superficie (km²)
 - Forme
 - Rotation (°N)
 - Orientation (°N)
 - Variance circulaire
 - Longueur (m) ~ Vitesse (km/h)
- } Cellule pluvieuse
- } Vecteur de déplacement



Application de la méthode à l'épisode pluvieux intense du **29 juillet 2005** (09h30 à 19h30)

Détection de 563 noyaux de forte intensité



Création de **437 vecteurs** de déplacement

En moyenne par pas de temps de 5 minutes :

identification de 4,7 cellules par pas de temps (sur l'ensemble de la couverture hydrologique)

- intensité maximale de **174,4 mm/h**
- intensité moyenne de **97 mm/h**
- superficie de **43 km²**
- direction **Sud-ouest Nord-est**
- orientation de **47,3°**
- vitesse de **66,5 km/h**

	Cellule	Int Max (mm/h)	Int Moy (mm/h)	Aire (km ²)	Forme	Rotation (°N)	Orientation (°N)	Variance circulaire	Longueur (m)	Vitesse (km/h)
Moyenne	4,7	174,4	96,6	42,7	1,4	97,2	47,3	0,05	5544,3	66,5
Écart Type	2,0	45,6	12,7	23,2	1,0	35,9	10,9	0,08	1006,5	12,1
Max	10,0	353,0	152,0	128,0	5,3	170,0	74,9	0,47	8771,6	105,3
Min	2,0	92,4	75,8	8,8	0,2	15,7	22,4	0,00	3605,4	43,3

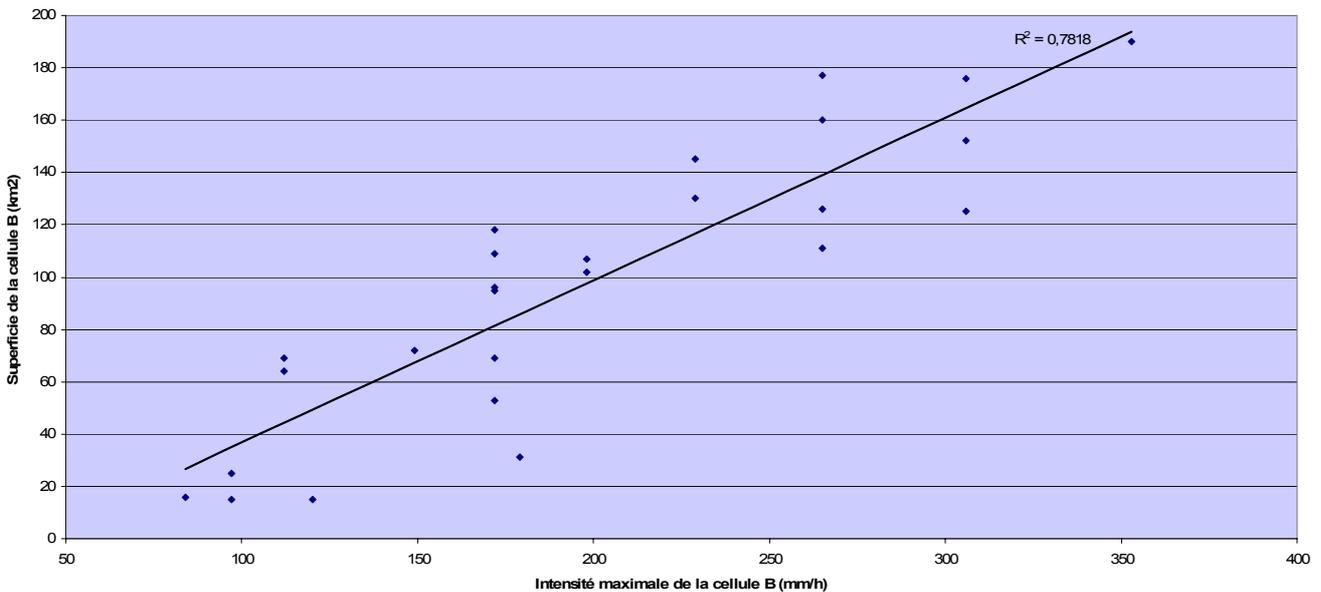
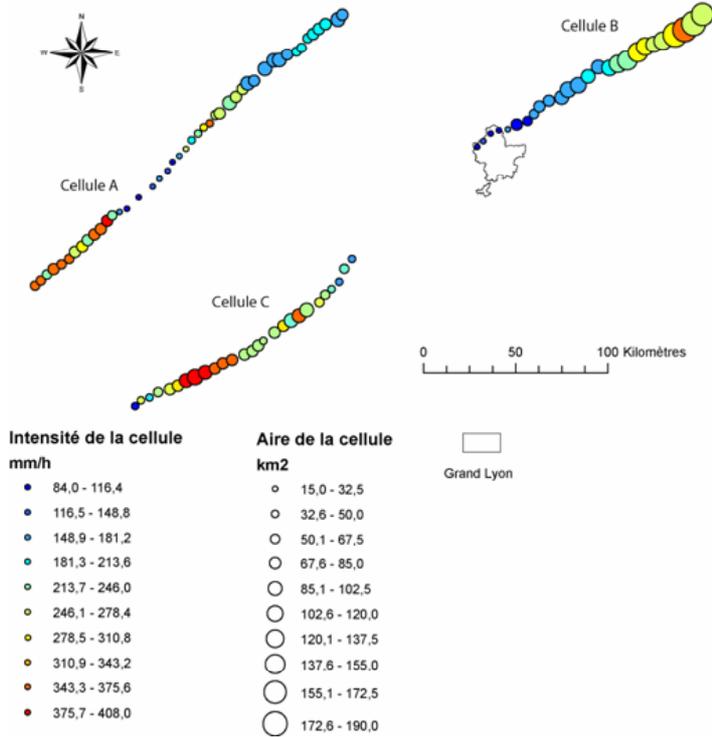


Analyse détaillée de l'évolution de trois cellules intenses

Suivi de la cellule A
durant 03h35 sur 227 km

Suivi de la cellule B
durant 02h00 sur 146 km

Suivi de la cellule C
durant 02h05 sur 145 km



Conclusion et perspectives

- Possibilité de **détection** de **cellules de pluie** jusqu'à **260 km** de Lyon
 - Forte **stabilité** des **cellules** de pluie en terme d'**orientation** et de **vitesse**
 - Influence **orographique**
 - Influence **urbaine**
- } peu évidente sur la **trajectoire** des cellules
- Couplage des **résultats du radar** avec les **situations synoptiques** pour déterminer des **météorotypes**
 - **Détermination** de **niveaux d'alerte** pour établir des **scenarii de gestion** du réseau en fonction des **types de risque** des épisodes pluvieux

Synthèse des résultats obtenus

- Utilisation a posteriori : amélioration des entrées pour les modèles de simulation :
 - meilleure reconstitution spatiotemporelle d'événements spécifiques ;
 - meilleure connaissance de l'aléa (pluies de période de retour rares et spatialisation de l'aléa) ;
 - disponibilité d'entrées normalisées pour différentes études (courbes IDF, pluies types, séries de pluies types) ;
- Utilisation en prévision :
 - mise en état d'alerte ;
 - anticipation et gestion en temps réel.





Merci de votre attention

Qualité chimique des eaux Application de la DCE : développement d'un Microsystème de mesure

Philippe NAMOUR, UCBL Lyon I/
CEMAGREF de Lyon
Nicole JAFFREZIC, UCBL Lyon I

Qualité chimique des eaux Application de la DCE développement d'un Micro- système de mesure

Ph. Namour, N. Jaffrezic
Université de Lyon/Cemagref

Micro-capteur Environnementaux

- **Besoins métrologiques**
- **Dispositif OTHU 1999**
- **Solution micro-capteur**
- **Exemple projet INTEGRÉAU**
- **Résumé - Conclusions**

Besoins de mesures

- **Besoins réglementaires**
 - **DCE & LEMA**
 - **États chimique et écologique**
- **Besoins cognitifs**
- **Défis méthodologies**

Besoins réglementaires

**La Directive Cadre
sur l'Eau
23/10/2000**

**Déclinaison en droit français :
la LEMA (2006)**

OTHU

Objectifs de la DCE

Prévenir la détérioration des masses d'eau Atteindre le "bon état" en 2015

- Chimique
- Écologique

Réduction des rejets toxiques

- Liste de 41 substances prioritaires
 - Les rejets doivent être réduits
- Liste de substances dangereuses prioritaires
 - Les rejets, émissions et pertes doivent cesser d'ici 2020

OTHU

la DCE & ses États

•État chimique

- Textes normatifs : Normes de
Qualité Environnementale

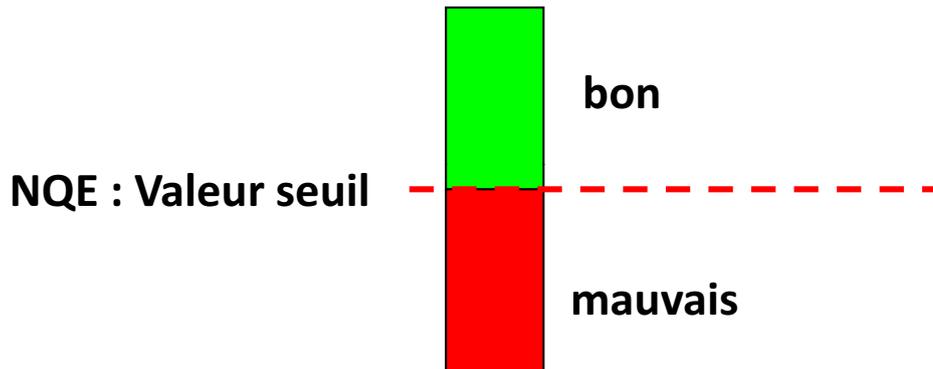
•État écologique

- "*qualité de la structure et du
fonctionnement des
écosystèmes aquatiques*"

OTHU

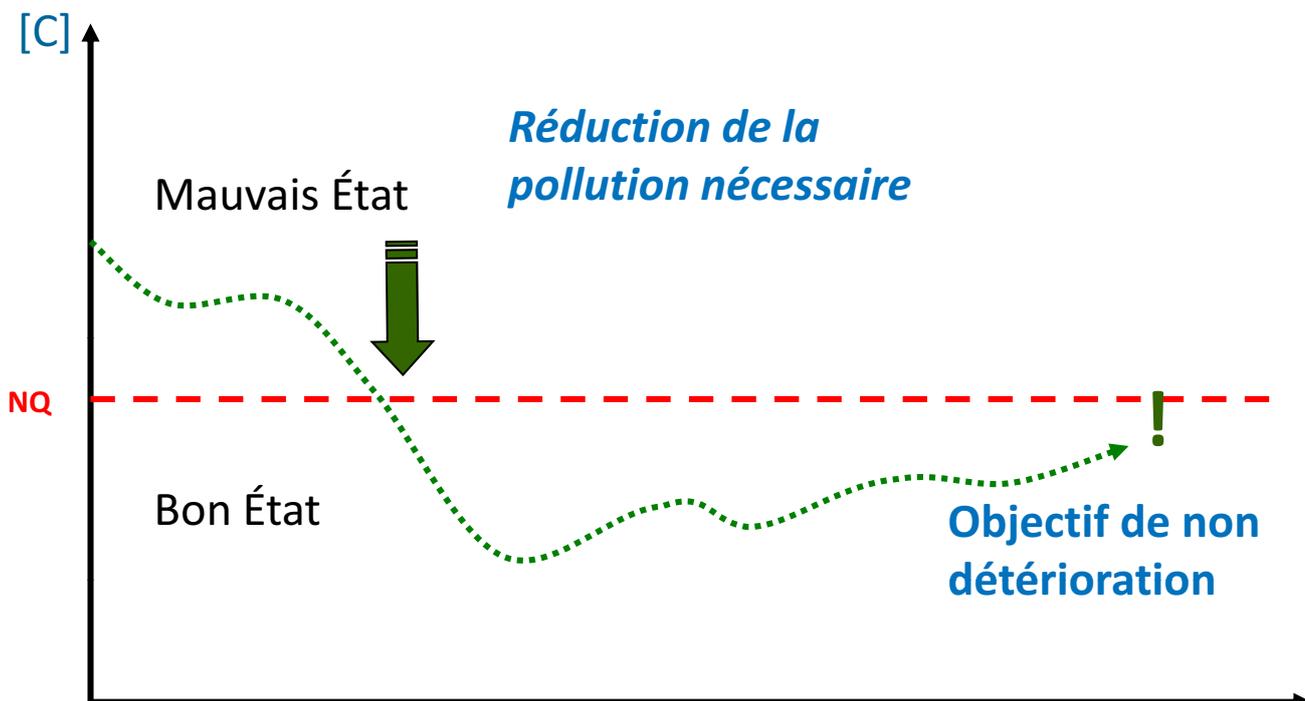
États chimiques des masses d'eau

Liste de 31 "substances prioritaires" avec
définition d'un seuil (NQE)



OTHU

Objectifs Qualité Chimique



Besoins cognitifs

Défi méthodologique en Hydro-chimie

d'une approche anatomique ...

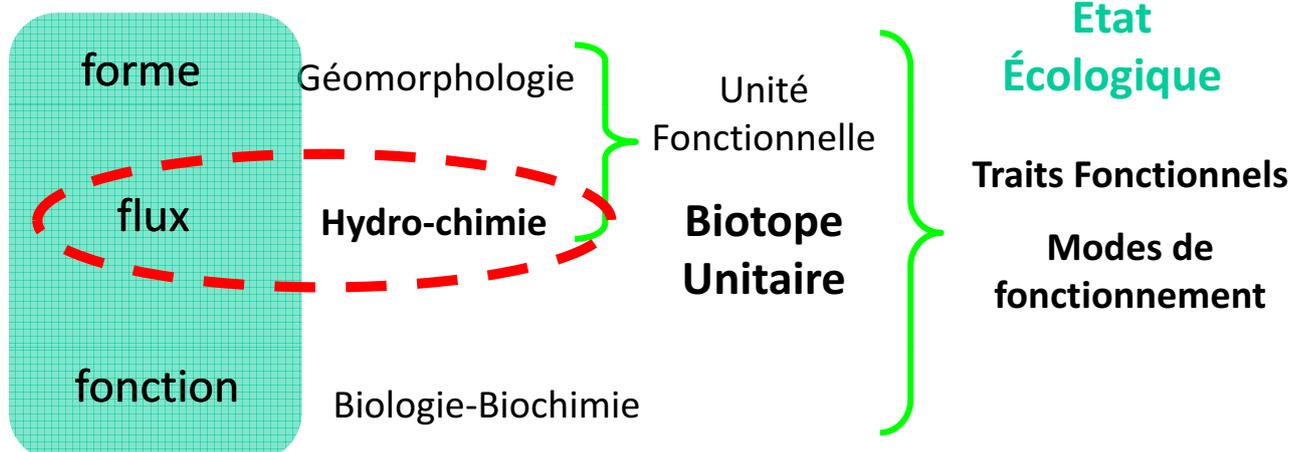
... à une approche physiologique

- Fonctionnalités écologiques
- Étude des flux de matière & d'énergie

Écosystème

des logiques emboîtées

Logiques



OTHU

Comparer des métriques comparables

Écotoxicologie & Hydrobiologie

Comparent des

Concentrations & Organismes Vivants

(Mesures Ponctuelles & Mesures Intégrées)

=>

Problèmes d'interprétation

Comparer flux de matière & organismes vivants



OTHU

Dimensions spatiales

Ambiance physico-
chimique microbienne &
microfaune



Chaetogaster diaphanus

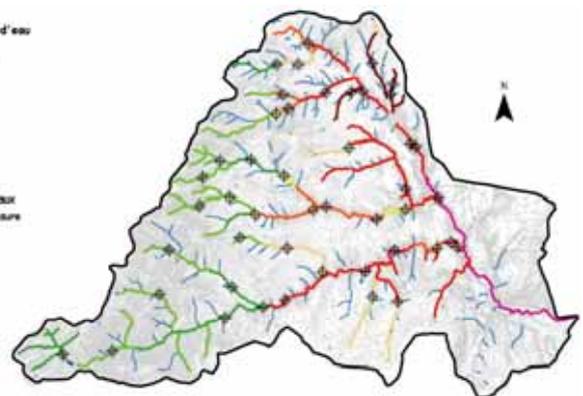
mm³ – cm³

Mesures faibles volumes

Niveau de contamination d'un
bassin versant

Types de cours d'eau

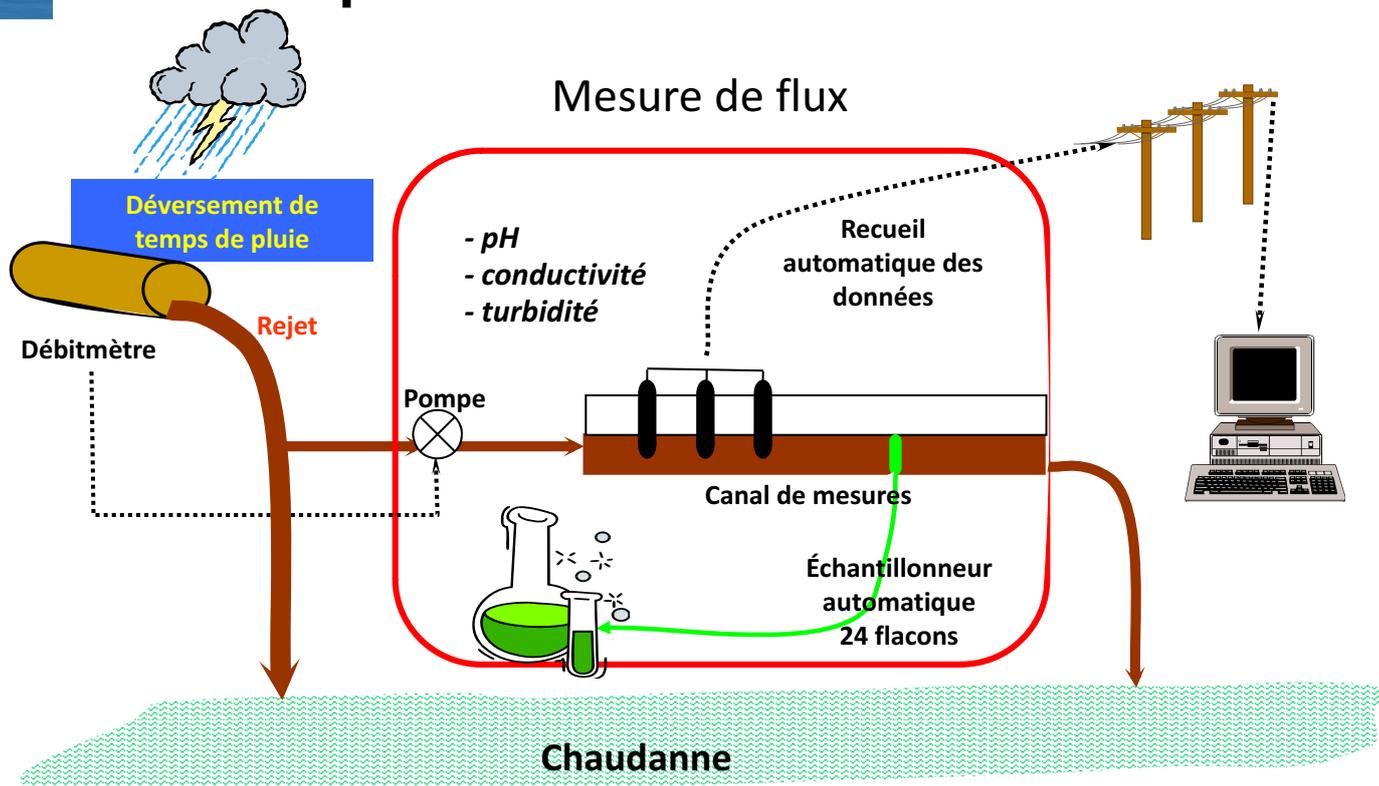
- Non classé
- A1
- A2
- B1
- B2
- B3
- B4
- B5
- C
- courbennieux
- ◆ Site de mesure



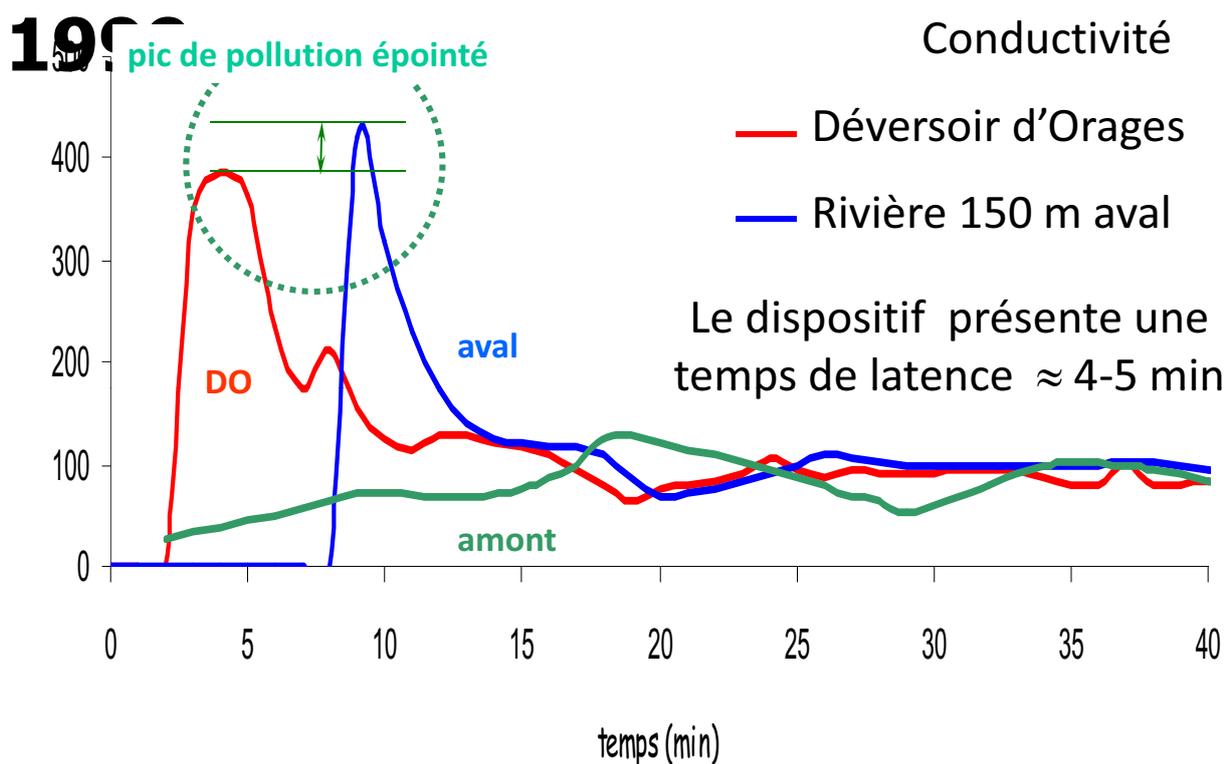
km²

Nombreuses mesures

Dispositif "OTHU 1999"

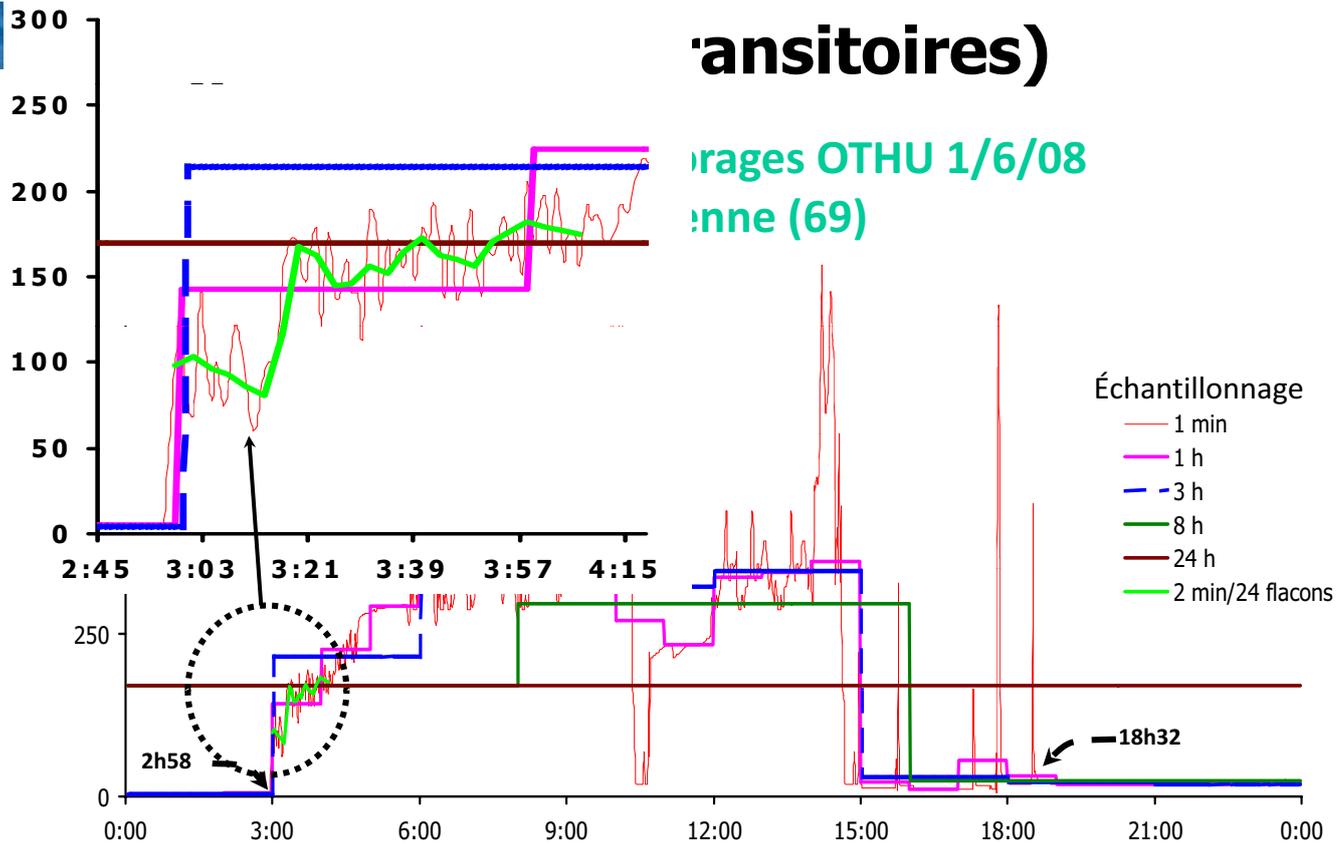


Temps de latence du dispositif



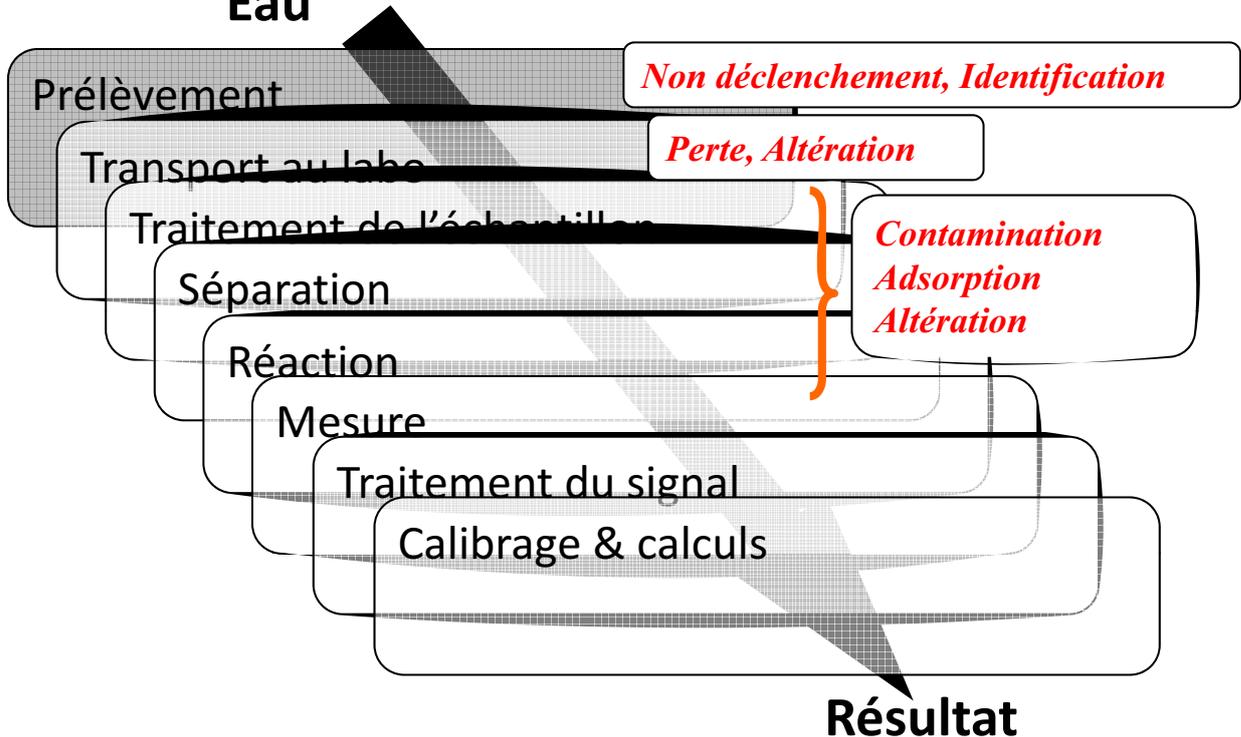
OTHU

Fenêtres de scrutation (transitoires)



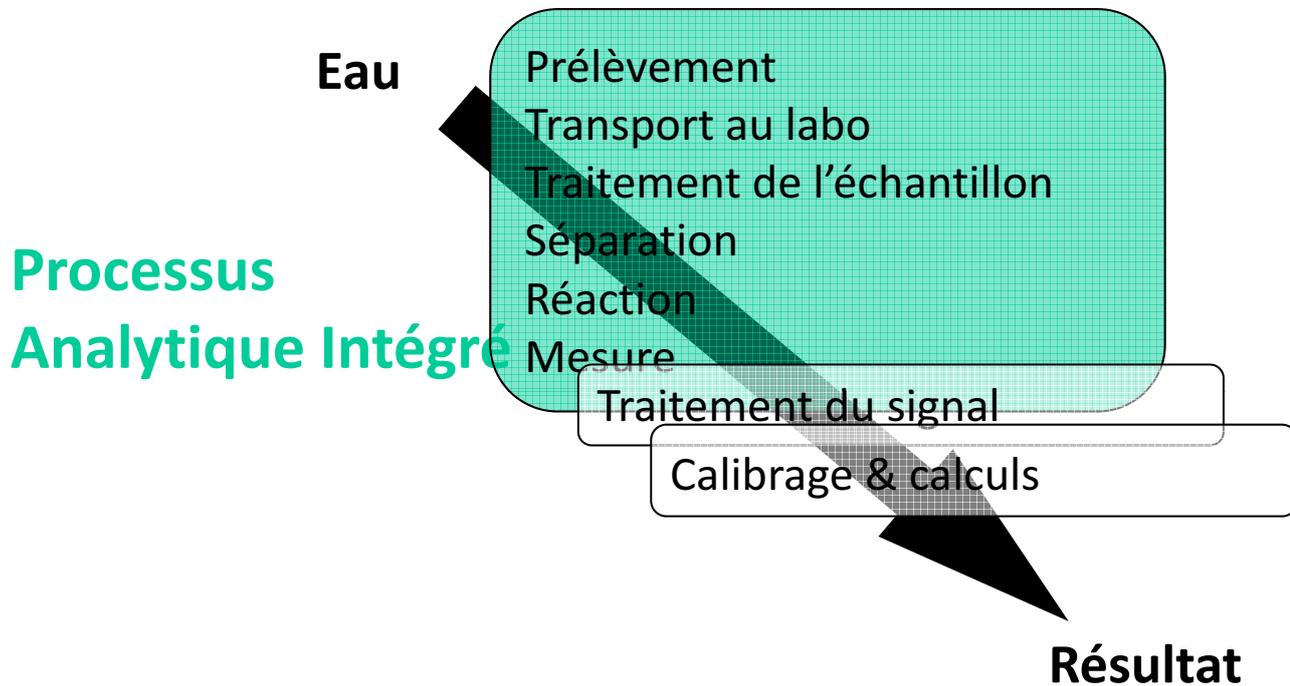
OTHU

Processus analytique conventionnel



OTHU

Solution Micro-capteur



OTHU

Mesures intégrées en continu

Simple : moindre risques d'erreurs

Économiques : multiplication des mesures

Autonomes : limite la maintenance

Temps réel : événements transitoires

Fiables & précises : qualité de mesure

Non destructifs : pas modifier le milieu de mesure



Exemple système INTEGREAU

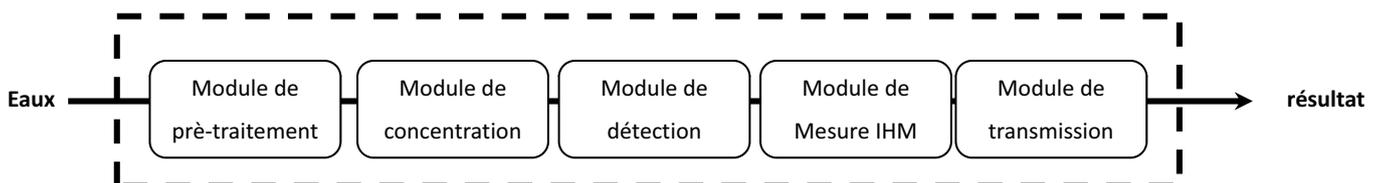
*micro-système générique pour l'application de la
Directive Cadre européenne sur l'eau ANR Precodd
2007*

- **Démontrer** la possibilité d'un **micro-système** intégrant
 - système micro-fluidique de **filtration & concentration**
 - module de **micro-détection**
- **Définir** une méthodologie de validation *in situ* du micro-système (rivière)
- **Illustrer** la validité du concept, pour métaux prioritaires DCE : Cd, Hg, Ni & Pb



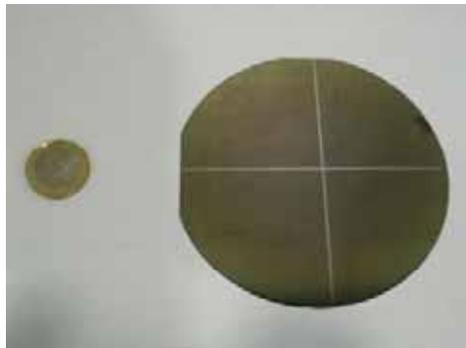
La chaîne modulaire de mesure

- 1) Pré-traitement (décantation & filtration)
- 2) Extraction & concentration
- 3) Détection
- 4) Mesure & interface homme-machine (IHM)
- 5) Télétransmission



Micro-système Intégreau

Dépôts PLD de DLC pur sur substrat Si(100) « grandes dimensions »

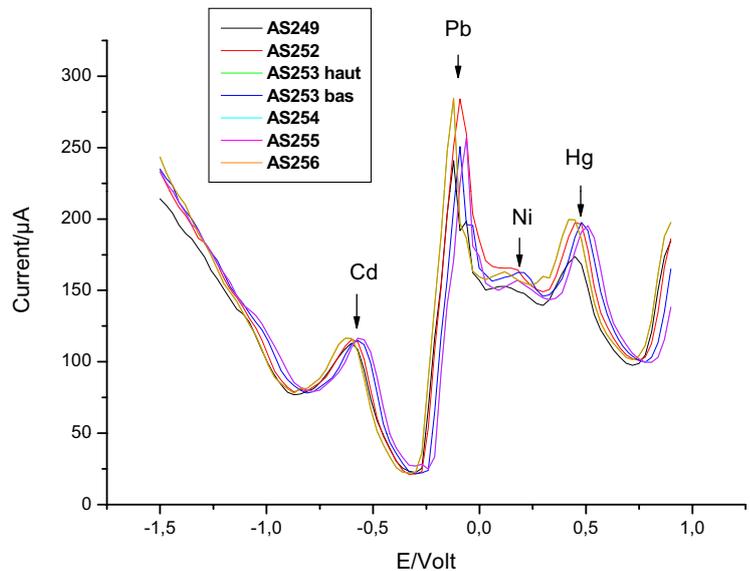


Carbone adamantin/Silicium (100)

∅ = 10,16 cm (4 pouces)

Épaisseur ~ 50 nm

adhérent



Voltampérométrie à redissolution anodique
par vagues carrées sur carbone adamantin à
0,1M acétique pH 4,2

Limites de détection

	LD µg/L	Linéarité µg/L	Sensibilité µA/µg	UE (2008) µg/L	Extracteur/ Concentrateur
Cd²⁺	1	1 - 20	6,8	0,08 – 0,25	X 15-20
Pb²⁺	1	1 - 30	16,2	20	OK
Ni²⁺	2	2 - 15	1,5	7,2	OK
Hg²⁺	1	1 - 25	5,5	0,05	X 20-25

Objectif Integreau: Baisser d'un facteur 25 la LD

- Module Détection (Optimisation)
- Module Extraction/Concentrateur



Validation

des matériels de mesure en continu

NF EN ISO 15839 (2006)

Déclinaison nationale de la norme ISO 15839 (2003)

Validation laboratoire & terrain

- Caractéristiques générales (LD, linéarité, répétabilité, dérive)
- Dynamique de la réponse (latence, temps de montée & descente)
- Disponibilité & temps de fonctionnement (prévue & avaries)



Contraintes du terrain

Axes d'évolution des micro-capteurs

- Climat
 - Micro-organismes
 - Abrasion & chocs
 - Autonomie
 - Milieu ouvert
 - Vandalisme
 - Collecte des données
 - Stockage & extraction
- } Durcissement
- } Miniaturisation
Communication sans fil
Éco-conception
- } Bases de données
Modèles Mathématiques
TIC



Bilan & Perspectives Micro-capteurs & Terrain

Besoins réels

- Normatifs (réglementation, surveillances)
- Cognitifs (écologie fonctionnelle)

Solution adaptée : micro-capteurs

- Résolution spatiale & temporelle
- Faible coût

Recherche & Développement

- Durcissement des systèmes
- Alimentation & Communication
- Validation automatique
- Stockage & extraction d'indicateurs



Merci de votre aimable attention



Micro-capteurs pour la gestion durable de la qualité des eaux

*Namour Philippe¹ **, Jaffrezic Nicole² **

** Université de Lyon, Laboratoire des Sciences Analytiques, UMR CNRS
5180, UCB-Lyon 1, CPE, F-69622, Villeurbanne cedex, France,*

** Cemagref, UR QEPP, 3bis Quai Chauveau, CP 220, F-69336, Lyon cedex
09, France*

La surveillance de l'environnement constitue le premier pilier des politiques de gestion, de protection et de restauration des eaux de surface et des ressources souterraines des bassins versants. La Directive Cadre sur l'Eau (EU, 2000) entre en application et va amplifier à terme le marché de la métrologie environnementale. Devant le coût prohibitif des analyses de laboratoire requises et les artefacts possibles lors de la séquence prélèvement-conditionnement-transport, il est nécessaire de concevoir de nouvelles stratégies de surveillance des milieux. Une des voies possibles passe par le déploiement d'instrumentations à bas coûts, d'acquisition de données de masses et d'outils de validation, de gestion et d'interprétation de ces données. Toutefois actuellement ce nouveau type d'instrumentation ne couvre pas encore la totalité des paramètres de la Directive Cadre sur l'Eau (EU, 2000, 2008), et cela ne sera sans doute pas encore le cas avant 2015, voire 2021. L'ampleur de ce défi métrologique demande la mobilisation de disciplines, trop peu souvent rassemblées en écologie aquatique. Sous la pression croissante de besoins tant réglementaires (DCE, LEMA) que cognitifs, (exploration du fonctionnement des hydro-systèmes), une des tendances lourdes de la chimie environnementale actuelle est d'évoluer vers la portabilité et le suivi in situ en continu d'un nombre croissant d'analytes nécessaires à la caractérisation et au suivi fonctionnel des milieux aquatiques.

1. Besoins réglementaires (transparents 4-8)

La surveillance de la ressource en eau et des milieux naturels sera un enjeu environnemental majeur pour les années à venir, impliquant de très nombreux acteurs (collectivités territoriales, agences de bassin, organismes de contrôle, gestionnaires de stations de traitement, citoyens). En Europe, la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) 2000/60/EC (EU, 2000), et sa transposition en France : la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (JO, 2006), imposent la connaissance et le suivi de 33 substances dites "prioritaires", ainsi que des substances de la liste définies à l'article R. 213-48-13 du Code de l'Environnement (JO, 2007), avec pour objectif d'atteindre le bon état des masses d'eau pour 2015, date fixée par la DCE avec des objectifs précis et mesurables. L'obligation de résultats a remplacé l'obligation de moyens et la menace de lourdes sanctions financières sont envisageables en cas de non atteinte des objectifs en 2015. La réglementation impose la connaissance et le suivi des teneurs d'une liste de substances dites prioritaires avec pour objectif des concentrations inférieures aux NQE (bon état chimique) pour 2015.

2. Besoins cognitifs (transparents 9-12)

La notion d'état écologique demande des avancées en hydrobiologie et écotoxicologie qui requièrent l'utilisation de métriques comparables, or actuellement des concentrations ponctuelles (analyses conventionnelles en laboratoire) sont confrontées avec des agencements biocénétiques, par nature intégrateurs. Enfin les événements polluants, singulièrement perturbateurs pour les biocénoses exposées sont généralement de nature transitoire et exigent une mesure à l'instant précis du pic de pollution, nécessitant la présence d'une instrumentation prête à mesurer.

3. Dispositif OTHU 1999-2009 (transparents 13-16)

Les sites OTHU instrumentés de 1999 à 2001 sont actuellement équipés de mesures en continu au niveau des équipements, et en rivière (turbidité, conductivité et pH). Des échantillonneurs réfrigérés 24 flacons pour analyse de la qualité des eaux au niveau complètent le dispositif.

Le fonctionnement de sites OTHU a permis de progresser dans la définition d'une instrumentation adaptée à la mesure environnementale. L'état de l'art en ce qui concerne le suivi physico-chimique et biologique des rivières, c'est-à-dire de ce qui est techniquement applicable actuellement et disponible

¹ philippe.namour@cemagref.fr

² nicole.jaffrezic@univ-lyon1.fr

pour la majorité des gestionnaires de terrain, est encore dominé par le protocole conventionnel : "prélèvement ponctuel et analyse en laboratoire" sur, au mieux en chimie, un échantillon moyen 24 heures, asservi au débit. La pertinence écologique d'un tel état de l'art est plus que problématique (Greenwood et al., 2007). En effet, ce type de protocole n'informe que sur la teneur au temps *t* (habituellement pendant les heures ouvrées) ignorant les variations horaires ou quotidiennes d'un rejet polluant et est incapable d'informer sur l'état écologique, ni même chimique d'une masse d'eau (Strobl and Robillard, 2008). L'échantillon moyen gomme également le caractère essentiellement dynamique d'un évènement polluant et les teneurs moyennes sont dépourvues de réalisme écologique. En rivière, les biocénoses ne sont jamais exposées à des teneurs moyennes, celles-ci n'existent pas concrètement pour elles. Elles sont réellement exposées à des changements de leur ambiance physico-chimique, d'autant plus perturbateurs qu'ils sont brusques et importants. En matière de toxicologie, la fluctuation est un paramètre plus important que la moyenne et dans notre cas, le pic de concentration maximale atteinte par le polluant importe plus que sa concentration moyenne. En effet la quasi-totalité des événements polluants transitoires échappent à notre protocole conventionnel, que ce soit les rejets urbains de temps de pluie, et notamment ceux des déversoirs d'orages, ou les apports polluants ruraux mobilisés lors des pluies d'orages et particulièrement déstabilisant pour les biocénoses. L'état écologique d'une rivière résulte davantage de la dynamique des apports polluants, et surtout des teneurs paroxystiques des pics de pollution, que de leurs concentrations moyennes 24h, voire mensuelles comme les mesurent les intégrateurs passifs (Stuer-Lauridsen, 2005, Kot-Wasik et al., 2007, Soderstrom et al., 2009). Aussi un suivi en continu est-il indispensable à la détermination réelle des états chimique et écologique d'une masse d'eau. Ce constat rend essentiel le développement d'outils économiques aptes à suivre en temps réel la physico-chimie des milieux aquatiques. La conception de moyens autonomes, rapides, fiables et précis adaptés aux mesures en continu, ouvre une voie innovante à l'évaluation des flux dans l'environnement. L'installation de micro-capteurs in situ répond à cette nécessité. Ce sont des instruments installés en réseau aux points névralgiques d'un système sous surveillance et mesurant en continu leur environnement physico-chimique.

4. Solution micro-capteurs (transparents 17-19)

Il ressort des synthèses publiées sur les micro-capteurs (Buffle and Horvai, 2000, Dickert and Lieberzeit, 2000, Taillefert *et al.*, 2000, Greenwood and Roig, 2006, Johnson *et al.*, 2007, Jaffrezic-Renault, 2009) que les principes de détection ne semblent pas constituer un facteur limitant au développement de micro-capteurs environnementaux. Les verrous sont plutôt situés au niveau des limites de détection, et un système de concentration doit permettre d'abaisser ces limites. Les verrous scientifiques et technologiques à lever sont plutôt situés au niveau du transducteur et du transmetteur. Aussi, les axes principaux de progrès sont-ils situés dans les domaines suivant : **Miniaturisation**, par intégration des différents modules sur une même puce, conduisant à une baisse de l'énergie consommée et semble avoir au moins sur les électrodes de conductivité un effet bénéfique sur la sensibilité. Demande des compétences en nanostructuration : utilisation de techniques de photolithographie et de lithographie douce (nanotechnologie & nanobiotechnologie) ; **Robustesse** et notamment la résistance aux conditions environnementales et à l'encrassement. La raison des difficultés de ces micro-capteurs à franchir le cap du terrain est certainement due pour partie à l'activité microbiologique qui conduit à un encrassement des surfaces sensible. Ce point ne semble pas l'objet de recherche aussi développé que la détection, et des percées devraient être possibles notamment dans la passivation des surfaces ou encore l'usage d'ultra sons ; **Communication**, un réseau de micro-capteurs doit être géo-localisable (en cas de perte notamment), vérifier l'état de ses communications et de son voisinage, valider la qualité de ses données avant leur transmission, alerter en cas de situation anormale. La technologie sans-fil est indispensable au déploiement d'un réseau de micro-capteurs dans les milieux aquatiques : éviter la formation d'embâcles et l'arrachage du dispositif lors des crues et minimiser les risques de vandalisme par un dispositif discret. Aussi, convient-il de mentionner la nécessité de développer les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) dans le but de gérer les flux de données générés par un réseau de micro-capteurs de façon optimale. **Autonomie** à augmenter par la diminution de la consommation énergétique et développement de possibilités d'alimentation *in situ*. La miniaturisation devrait avoir des effets bénéfiques sur la consommation énergétique des micro-capteurs ; l'**Eco-conception** doit être intégrée dès le choix du principe de mesure. Dans l'éventualité de perte dans l'environnement, la constitution du micro-capteur doit bannir l'utilisation de substances toxiques ou dangereuses pour l'environnement (notion de cycle de vie du micro-capteur à intégrer). Les micro-capteurs développés, de par leur taille de l'ordre du millimètre pour les plus gros, demandent peu de matière première, en général des dépôts nanométriques de métaux nobles, comme l'or ou le platine, sur du silicium. Et les quantités mises en œuvre sont très faibles, de l'ordre du nanogramme, voire du picogramme. Nous avons exclu tout usage de métaux lourds dans le système projeté, ainsi que les Substances

Extrêmement Préoccupantes (*Substances of Very High Concern*) du système REACH³ et les Substances Prioritaires de la DCE. Une attention particulière sera portée sur la dimension "éco-compatible" du matériel mis en place dans la rivière lors de l'élaboration du cahier des charges. Enfin, du fait de leur taille réduite, la consommation énergétique des micro-capteurs est limitée. De plus dans un souci d'augmenter l'autonomie du système, la diminution de la consommation énergétique sera un des critères de sélection des technologies à retenir pour l'instrumentation du site. A ce réseau physique il convient d'ajouter une logistique assurant la maintenance et la gestion du réseau de micro-capteurs (e.g. : nettoyage, vérification, étalonnage, réparation), garante de la fiabilité des données. Cela implique la présence de personnels chargés de la maintenance du réseau si possible dans un esprit de démarche qualité.

5. Projet intégré (Transparents 20-22)

Afin de progresser dans l'instrumentation in situ, nous avons monté un projet de micro-système de détection adapté à la mesure environnementale. Intégreau est un projet soutenu par l'ANR et Axelera, financé dans le cadre du Precodd 20074. L'objectif de ce projet est de démontrer la faisabilité d'un micro-système générique nouvelle génération intégrant un système micro-fluidique d'extraction et de concentration à un module de micro-détection, pour la métrologie en ligne des métaux lourds en milieu aqueux. Ce nouveau concept analytique compact intègre la totalité de la chaîne analytique depuis le prélèvement et son conditionnement jusqu'à la détection de l'analyte et la transmission de l'information. Ce projet est mené par une équipe pluridisciplinaire, travaillant conjointement et associant des compétences en matière de recherche et des compétences opérationnelles. Le micro-système Intégreau est constitué de 5 modules, assemblés en série, chacun ayant un rôle spécifique dans la chaîne de mesure. La chaîne de mesure globale comprend les modules suivants : 1. module de pré-traitement ; 2. module d'extraction/concentration ; 3. module de détection ; 4. module mesure et interface homme-machine (IHM) ; 5. module de transmission. La conception modulaire du système intégré permet d'envisager la détection d'autres polluants par association de modules de détection et de concentration spécifiques.

6. Validation (transparent 23)

Enfin, mentionnons une étape cruciale pour tout nouveau système de mesure en développement : la validation. Toutefois un très faible nombre, pour ne pas dire aucune publication porte sur des capteurs validés sur le terrain, si l'on excepte les électrodes ion-sélectives (ISE type électrode de pH) déjà commercialisées. La grande majorité des capteurs publiés sont accompagnés d'un nombre restreint de données sur leur performance. Généralement la liste se limite à la linéarité, les limites de détection et quantification et l'étude des interférents possibles. Pas de données sur les temps de latence et de réponse, les dérives à court terme et long terme, les temps de fonctionnement effectif et le taux de lacune du système. Autant de caractéristiques qu'il est nécessaire pour connaître le domaine de fonctionnement un capteur et ces performances réels. Nous avons depuis près de trois ans un protocole de validation. En effet, en août 2006, le Comité technique CEN/TC 230 approuva l'intégralité de la norme ISO 15839, élaborée en 2003 par ISO/TC 147, et elle fut à son tour intégralement reprise par la commission T90L de l'AFNOR en décembre 2006. Cette norme européenne EN ISO 15839 : 2006, décrit l'essai de performance pour des capteurs destinés à la mesure de la qualité des eaux. Elle constitue une bonne base : en première partie la terminologie est clarifiée et en seconde partie la méthodologie bien expliquée. Toutefois les essais de caractérisation sur le terrain mériteraient d'être davantage formalisés. En 2007 paraissait une première déclinaison de la norme destinée aux centres d'essai spécialisés dans l'évaluation des matériels de mesure en continu.

7. Conclusions (transparent 24)

S'il existe actuellement, sous pression croissante de besoins réglementaires et cognitifs, un commun accord sur la nécessité d'opérer un changement de paradigme dans le suivi de la qualité des eaux, cette rupture technologique tant attendue est loin d'être aisée. En effet, la conception et le développement de nouveaux micro-capteurs demandent la mise en synergie de sciences étrangères à l'hydro-écologie, en associant des compétences allant de l'analyse des surfaces, tant spectrale que microscopique, les techniques de nano-structuration, la chimie des surfaces et réactivité des bio-interfaces et l'électrochimie et la micro-électronique jusqu'à l'analyse de données, la métrologie et aux

³ REACH : *Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals* (Enregistrement, Évaluation et Autorisation des Produits Chimiques), voir le site <http://www.reachimpact.com/> pour la liste à jour des substances extrêmement préoccupantes.

⁴ Precodd : Programme Ecotechnologies et Développement Durable, Integrea :: ANR-07-ECOT-006. Consortium composé des partenaires suivants : le Laboratoire des Sciences Analytiques, Université Claude, Bernard Lyon I ; le Laboratoire Hubert Curien, Université Jean Monnet, Saint-Étienne ; le Service Central d'Analyse du CNRS, Solaize ; le Cemagref, UR Milieux Aqueux, Ecologie et Pollutions, Lyon ; le leti-Cea-Minatec, Grenoble ; Suez Environnement, Le Pecq ; la société ELTA, Blagnac ; l'OTHU, Lyon, et le GRAIE, Lyon.

sciences de l'information et communication. Donc des collectifs de travail transdisciplinaires délicats à constituer et à diriger. C'est la démarche qu'entreprend actuellement le Laboratoire des Sciences Analytiques de l'Université de Lyon en attendant l'ouverture officielle de l'Institut des Sciences Analytiques actuellement en gestation. Le micro-capteur doit être vu comme l'organe sensible d'un système plus large chargé d'acquies, d'évaluer et stocker de l'information. Le développement de ce système doit aussi être l'objet de recherche dans des domaines comme la télétransmission, le traitement du signal et l'analyse de données, afin de fournir aux utilisateurs finaux (gestionnaires et scientifiques) un outil simple et convivial et des indicateurs valides et gérables commodément. Ajoutons enfin pour conclure, que le développement de micro-capteurs pour l'environnement demande à être soutenu par des projets complexes à monter et dont l'évaluation est loin d'être facile, faute d'experts couvrant la totalité des champs disciplinaires impliqués.

8. Références citées

- Buffle, J. and Horvai, G. (2000) In-situ monitoring of aquatic systems: Chemical analysis and speciation, John Wiley, New York.
- Dickert, F.L. and Lieberzeit, P.A. (2000) Encyclopaedia of Analytical Chemistry. Meyers, R.A. (ed), pp. 3831–3855, Wiley, Chichester.
- EU (2000) Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Journal officiel des Communautés européennes (L327), 1-73.
- EU (2008) Common Position (EC) No 3/2008 adopted by the Council on 20 December 2007 with a view to the adopting Directive 2008/.../EC of the European Parliament and of the Council of ... on environmental quality standards in the field of water policy and amending Directives 82/176/EEC, 83/513/EEC, 84/156/EEC, 84/491/EEC, 86/280/EEC and 2000/60/EC. Official Journal of the European Union (3/2008), C71E/71-15.
- Greenwood, R., Mills, G.A. and Roig, B. (2007) Introduction to emerging tools and their use in water monitoring. TrAC - Trends in Analytical Chemistry 26(4), 263-267.
- Greenwood, R. and Roig, B.(2006) Report SWIFT, Deliverable 5: Directory of "Screening tools" - A toolbox of existing and emerging methods for chemical and ecological status monitoring under the WFD, Union Européenne, Deliverable 5.
- Jaffrezic-Renault, N. (2009) Analytical electrochemistry for environment: electrochemical microsensors for the in situ monitoring of pollutants. Actualite Chimique (327-28), 52-55.
- JO (2006) Loi no 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques. Journal Officiel de la République Française (303), 20285-20348.
- JO (2007) Arrêté du 7 décembre 2007 établissant la liste des substances prioritaires ainsi que la liste des substances définies à l'article R. 213-48-13 du code de l'environnement relatif à la redevance pour pollutions diffuses. Journal Officiel de la République Française, 20937-20942.
- Johnson, K.S., Needoba, J.A., Riser, S.C. and Showers, W.J. (2007) Chemical sensor networks for the aquatic environment. Chemical Reviews 107(2), 623-640.
- Kot-Wasik, A., Zabiegala, B., Urbanowicz, M., Dominiak, E., Wasik, A. and Namiesnik, J. (2007) Advances in passive sampling in environmental studies. Analytica Chimica Acta 602(2), 141-163.
- Soderstrom, H., Lindberg, R.H. and Fick, J. (2009) Strategies for monitoring the emerging polar organic contaminants in water with emphasis on integrative passive sampling. Journal of Chromatography A 1216(3), 623-630.
- Strobl, R.O. and Robillard, P.D. (2008) Network design for water quality monitoring of surface freshwaters: A review. Journal of Environmental Management 87(4), 639-648.
- Stuer-Lauridsen, F. (2005) Review of passive accumulation devices for monitoring organic micropollutants in the aquatic environment. Environmental Pollution 136(3), 503-524.
- Taillefert, M., Luther III, G.W. and Nuzzio, D.B. (2000) The application of electrochemical tools for in situ measurements in aquatic systems. Electroanalysis 12(6), 401-412.

Acquisition de données en continu : équipements, procédures, exemples de résultats

Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI,
Gislain LIPEME KOUYI, INSA de Lyon



Acquisition de données en continu : équipements, procédures, exemples de résultats

J.-L. Bertrand-Krajewski, G. Lipeme Kouyi
LGCIE



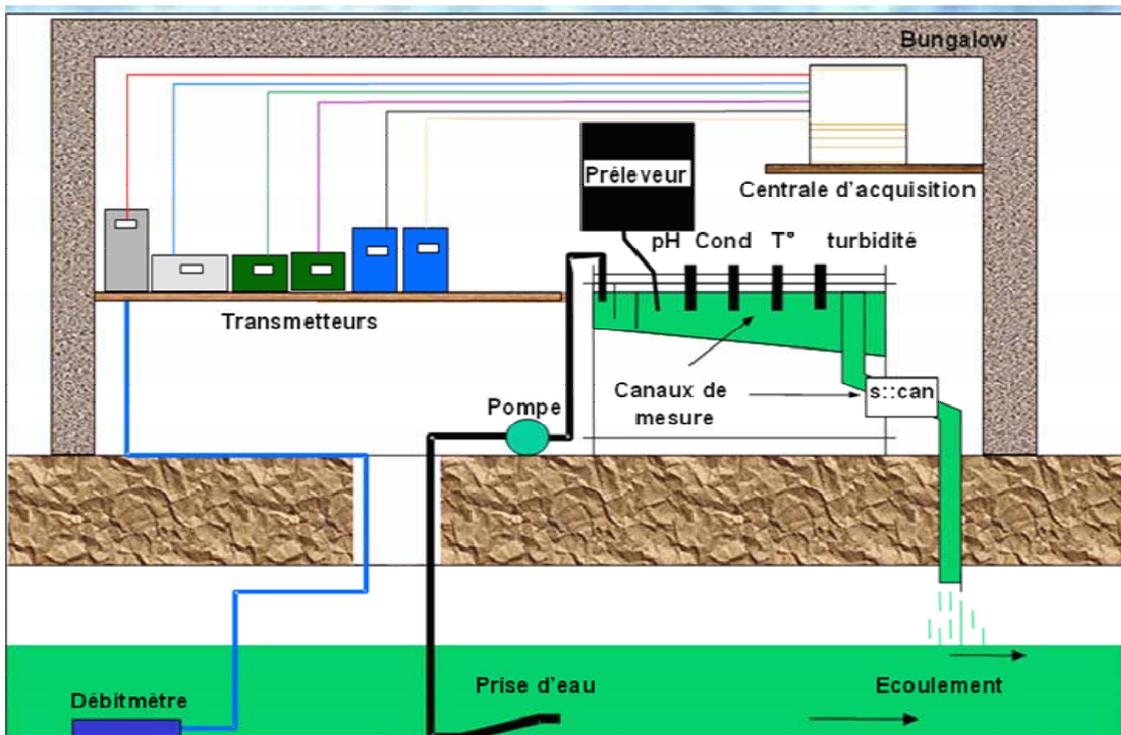
OBJECTIFS

- Séries de données en continu (2 min)
 - flux d'eau
 - flux de polluants (MES, DCO...)
- avec estimation des incertitudes

Equipements



Données acquises en continu



Procédures spécifiques systématiques

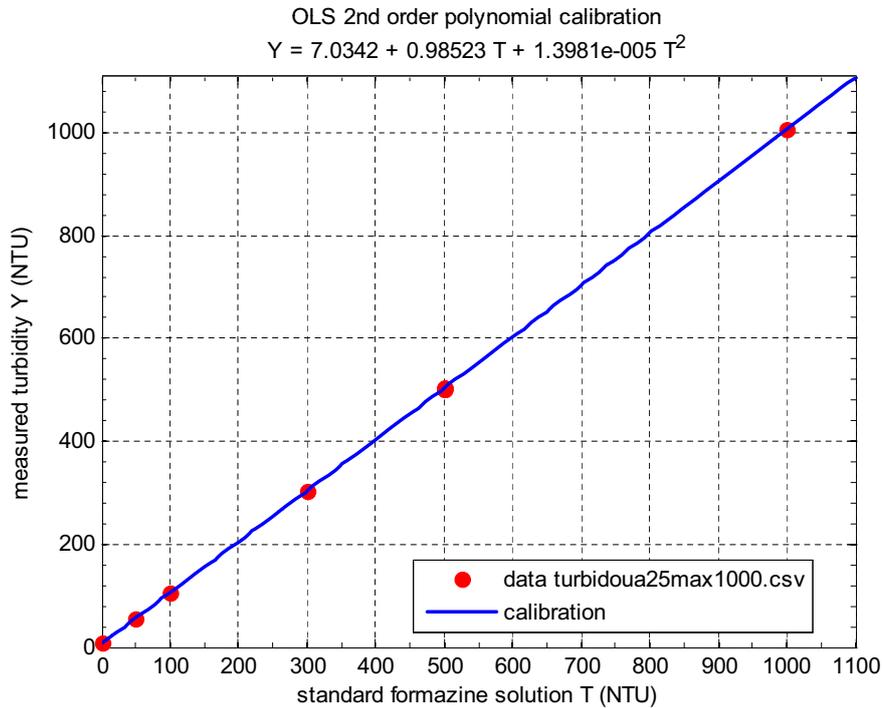
- Étalonnage
- Prélèvements et analyses en laboratoire
- Evaluation des incertitudes
- Validation des données
- Relations Turbidité-MES ou Turbidité-DCO

Exemple étalonnage turbidimètre

- étalons primaires de formazine certifiés NIST à 1 %
- 25 mesurages répétés pour chaque solution étalon



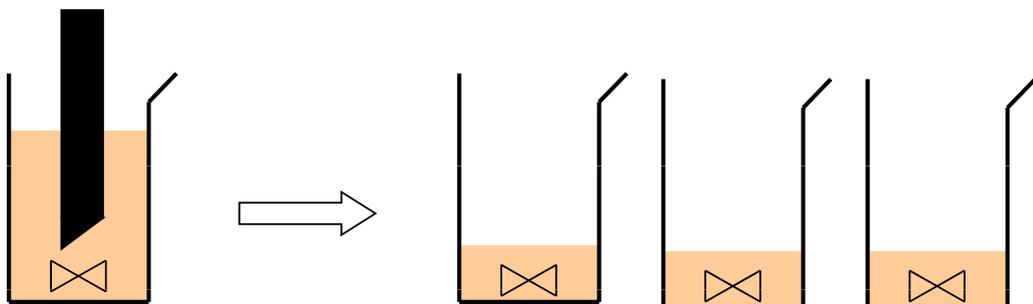
Etalonnage final : 0-1000 NTU, 2° ordre



GRAIE – GRAND LYON - Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009

Corrélation Turbidité-MES-DCO

Prélèvements : échantillons instantanés 1 L



50 mesurages

$$\overline{\hat{T}} \quad u(\overline{\hat{T}})$$

triplicats, analyses normalisées

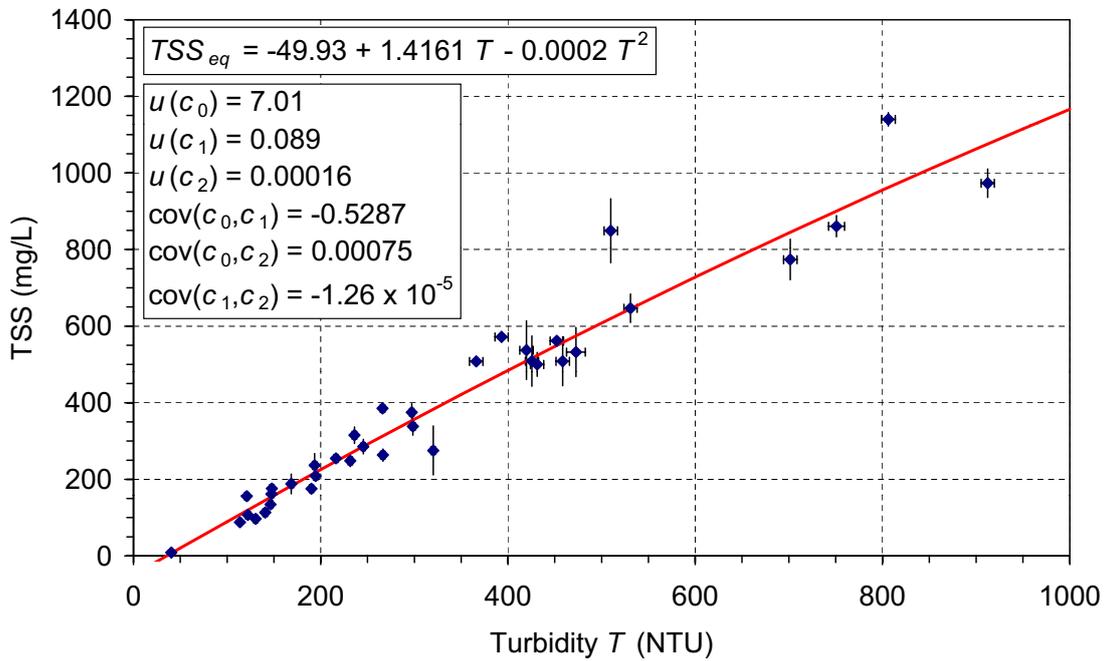
$$\overline{TSS} \quad u(\overline{TSS}) \quad \overline{COD} \quad u(\overline{COD})$$

$$\text{triplets } \left(\overline{\hat{T}}, \overline{TSS}, \overline{COD} \right)$$

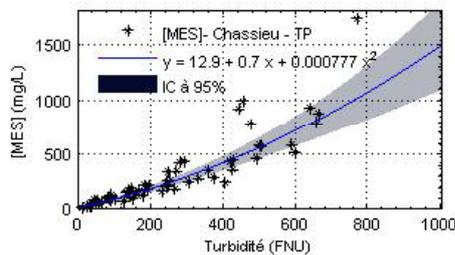
GRAIE – GRAND LYON - Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009



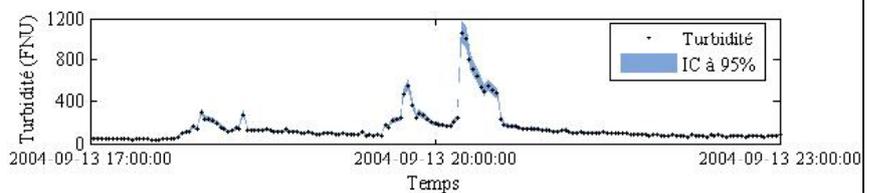
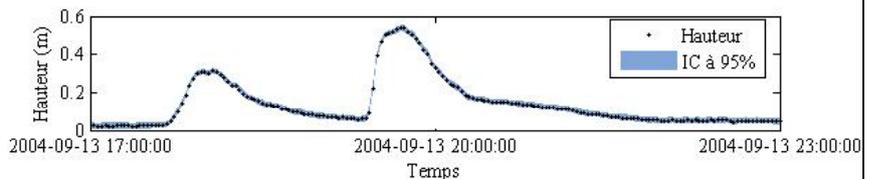
Corrélation Turbidité-MES Ecully



Corrélation Turbidité-MES Chassieu

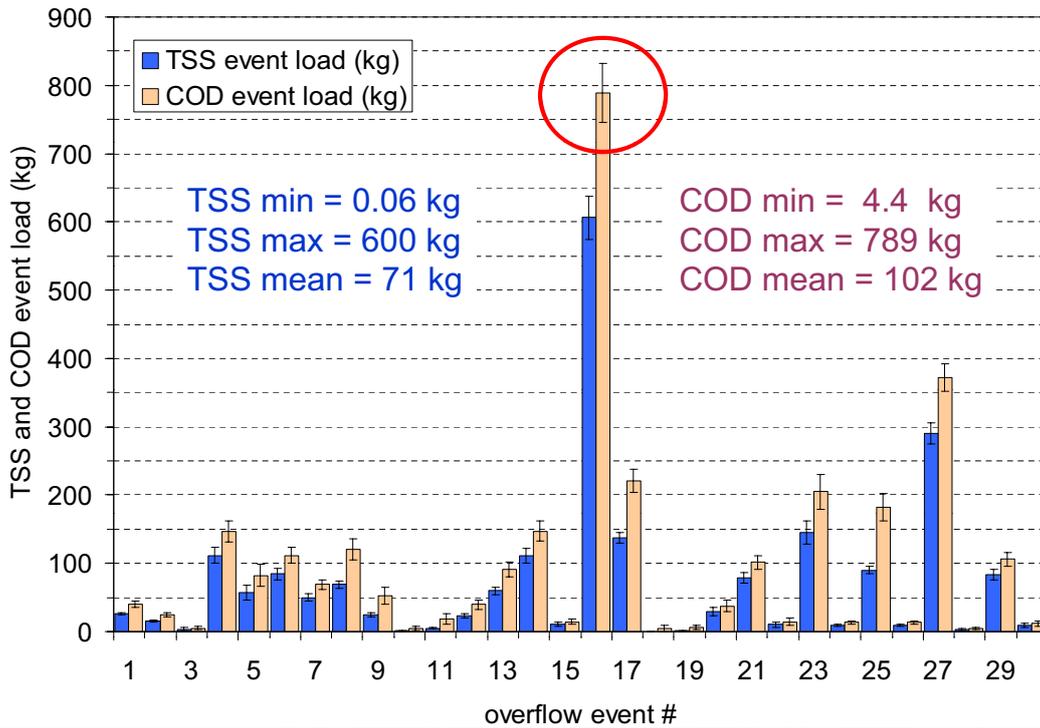


+ 250
événements
pluvieux

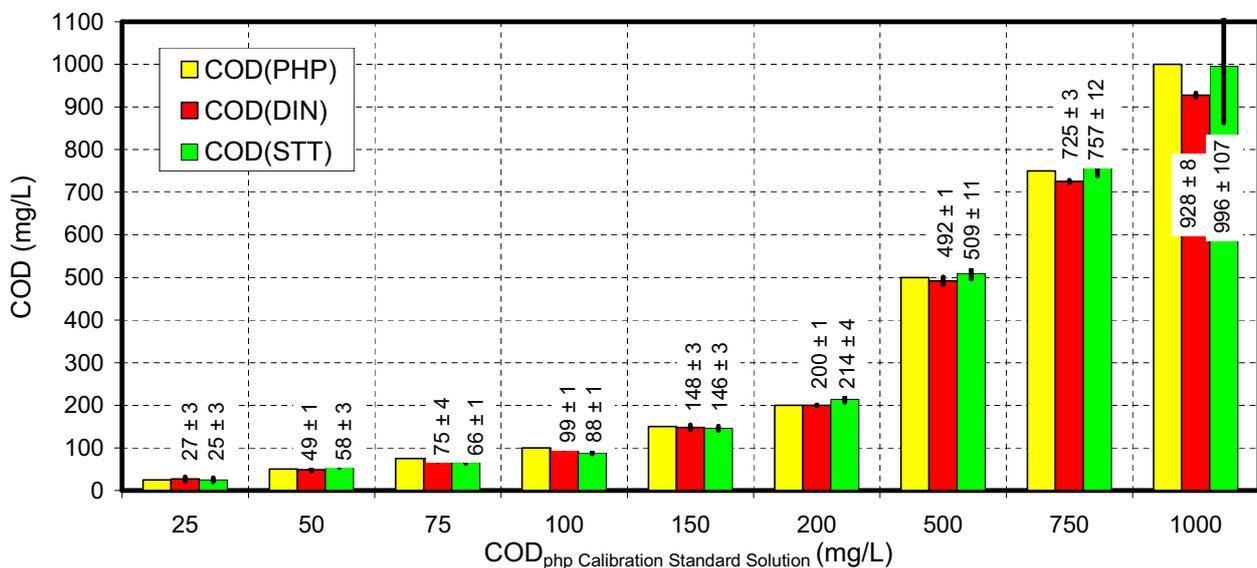




Corrélation Turbidité-MES Ecully

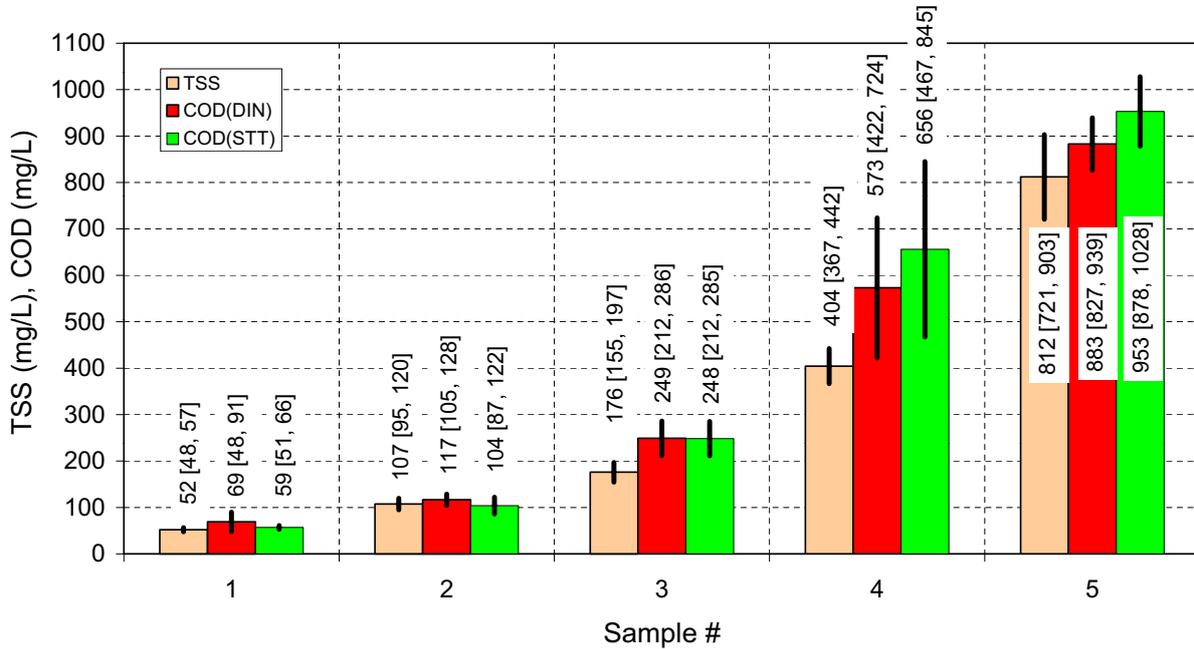


Mesurages DCO : norme, micro-méthode, étalons





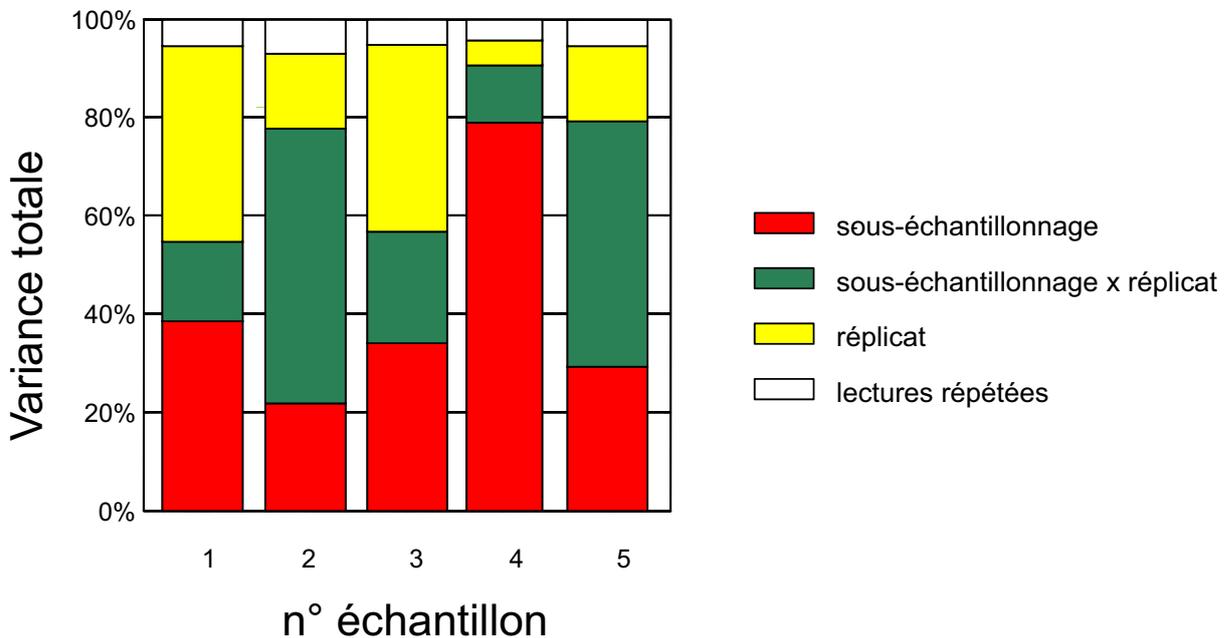
Mesurages DCO sur ERU : norme vs. micro-méthode



GRAIE – GRAND LYON - Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009



Mesurages DCO sur ERU : norme vs. micro-méthode

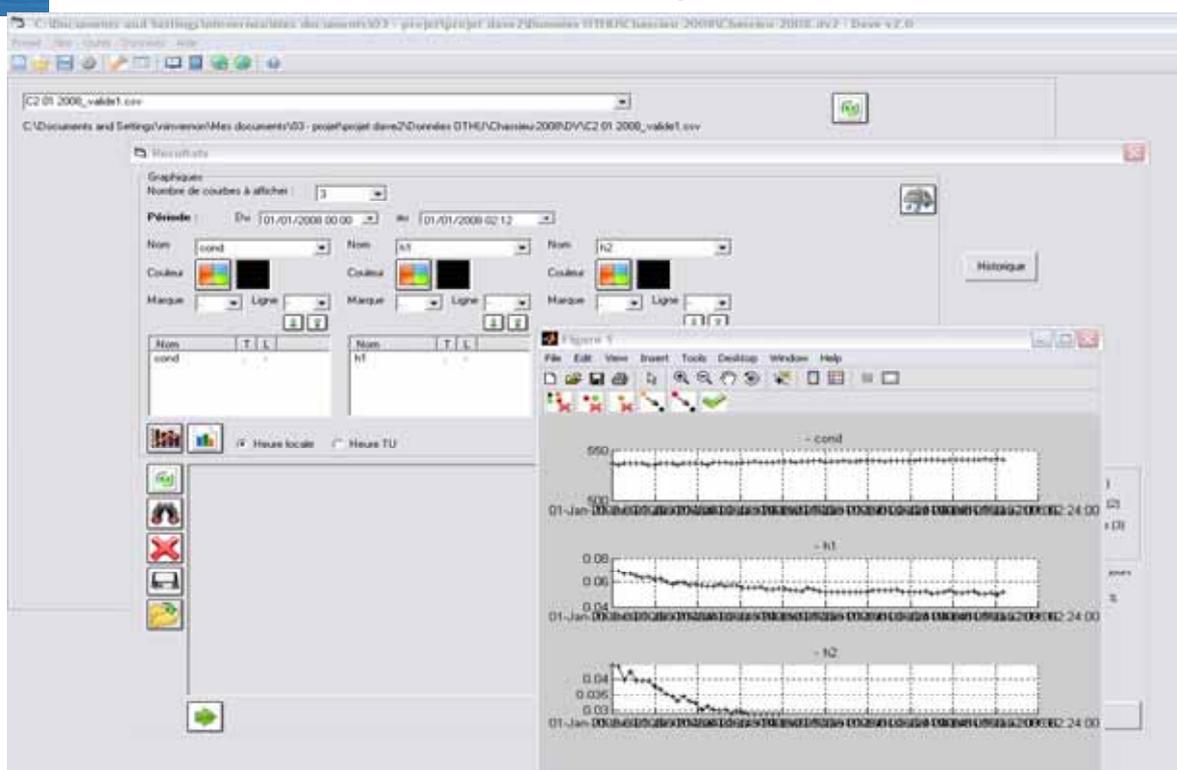


GRAIE – GRAND LYON - Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009

Procédures

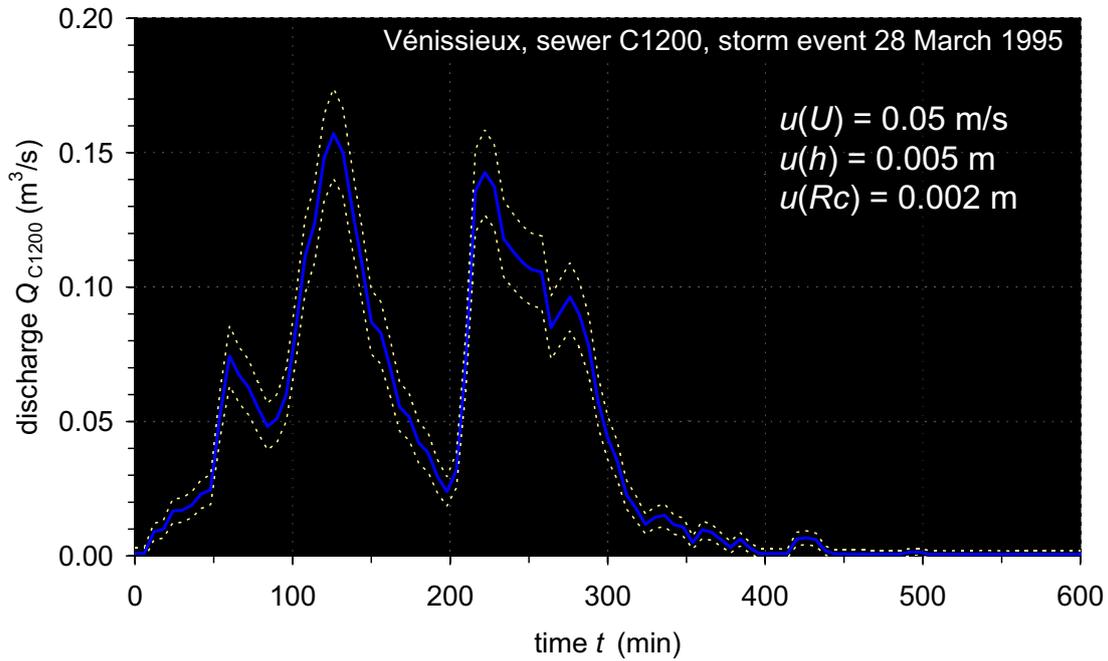
- Étalonnage systématique TOUS capteurs
 - hauteurs d'eau
 - pH, conductivité, turbidité, spectromètres UV-visible
 - vitesses d'écoulement ? traçage rhodamine WT
- Procédures écrites : étalonnage, vérification, maintenance
- Algorithmes automatisés

Validation automatique des données

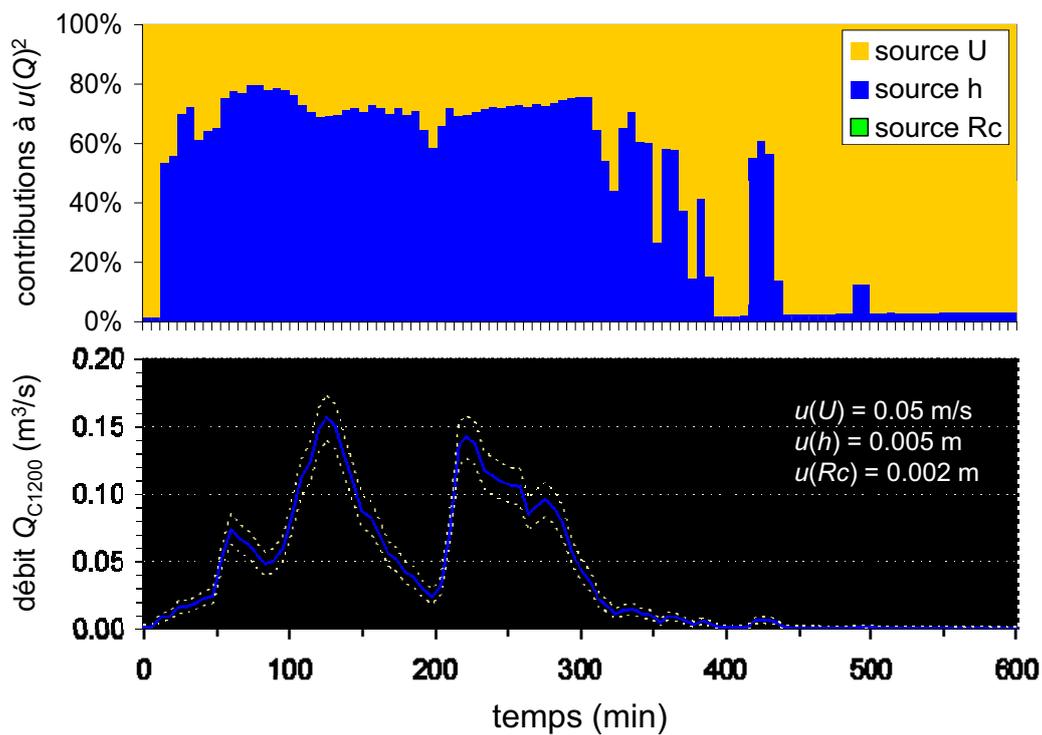




Exemples de résultats – Flux d'eau



Exemples de résultats – Flux d'eau





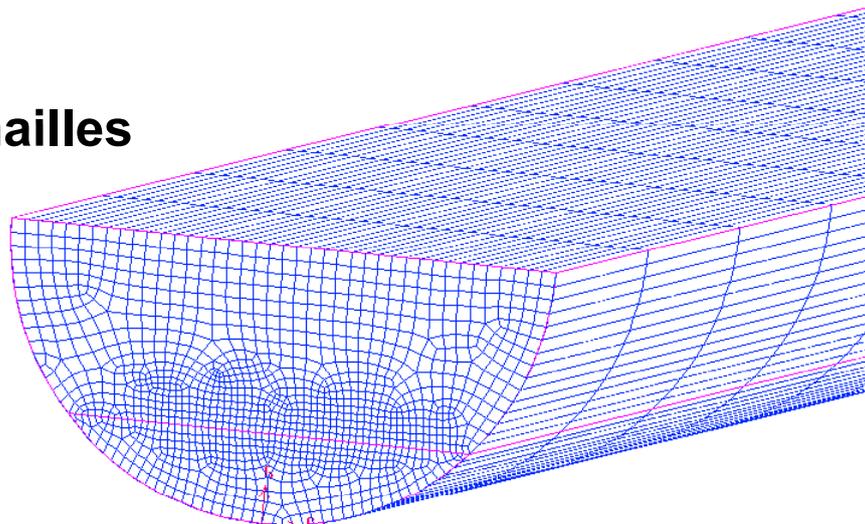
Exemples de résultats – Flux d'eau



D = 1.6 m - Pente 1 %



85 000 mailles



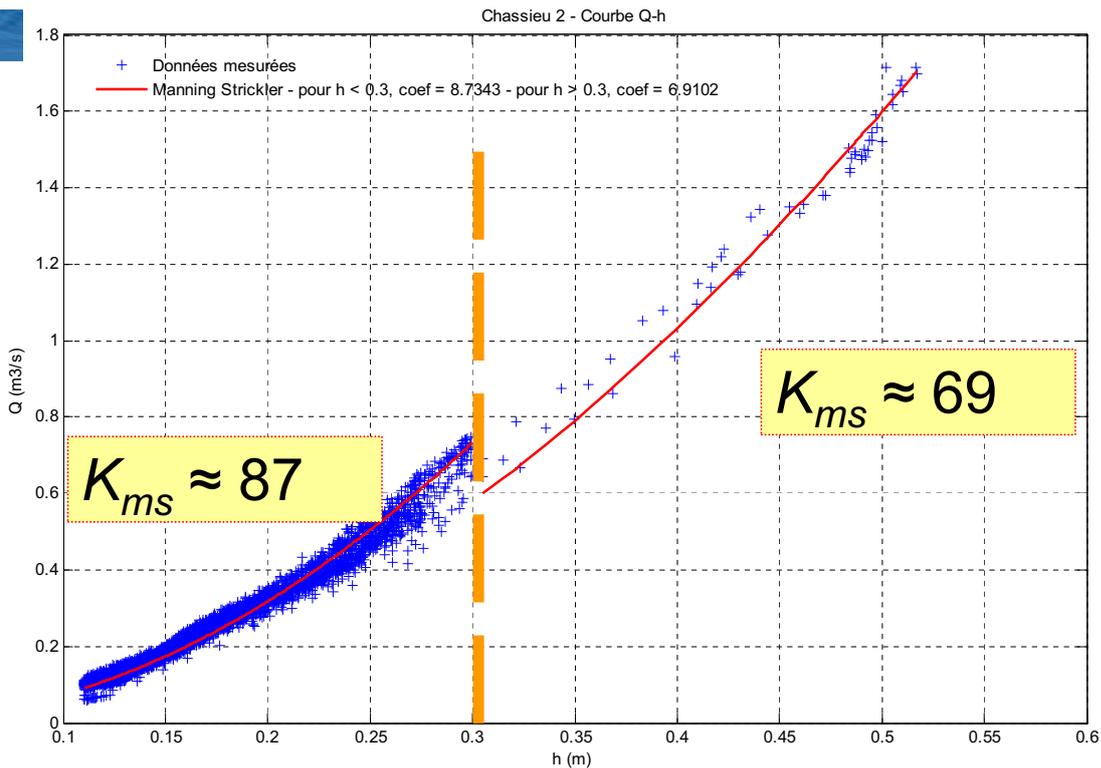
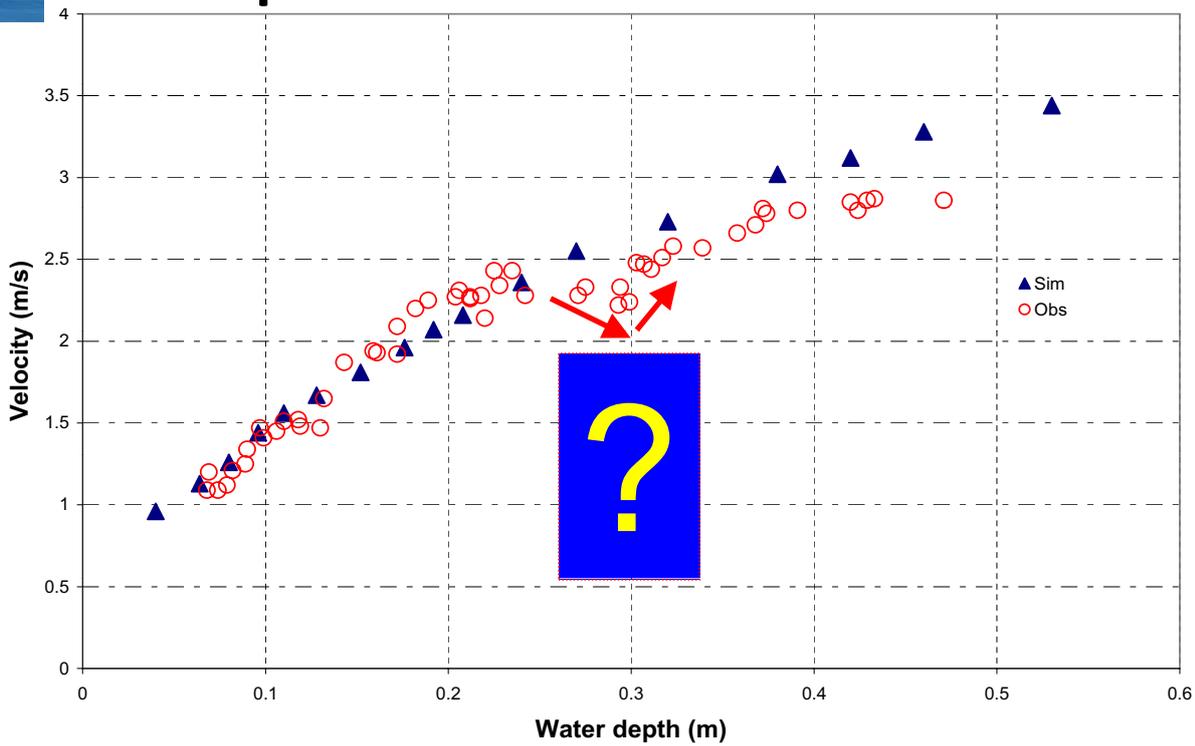
Code CFD
Fluent®



Eq. Reynolds
approche VOF
turbulence RSM
Conditions aux limites



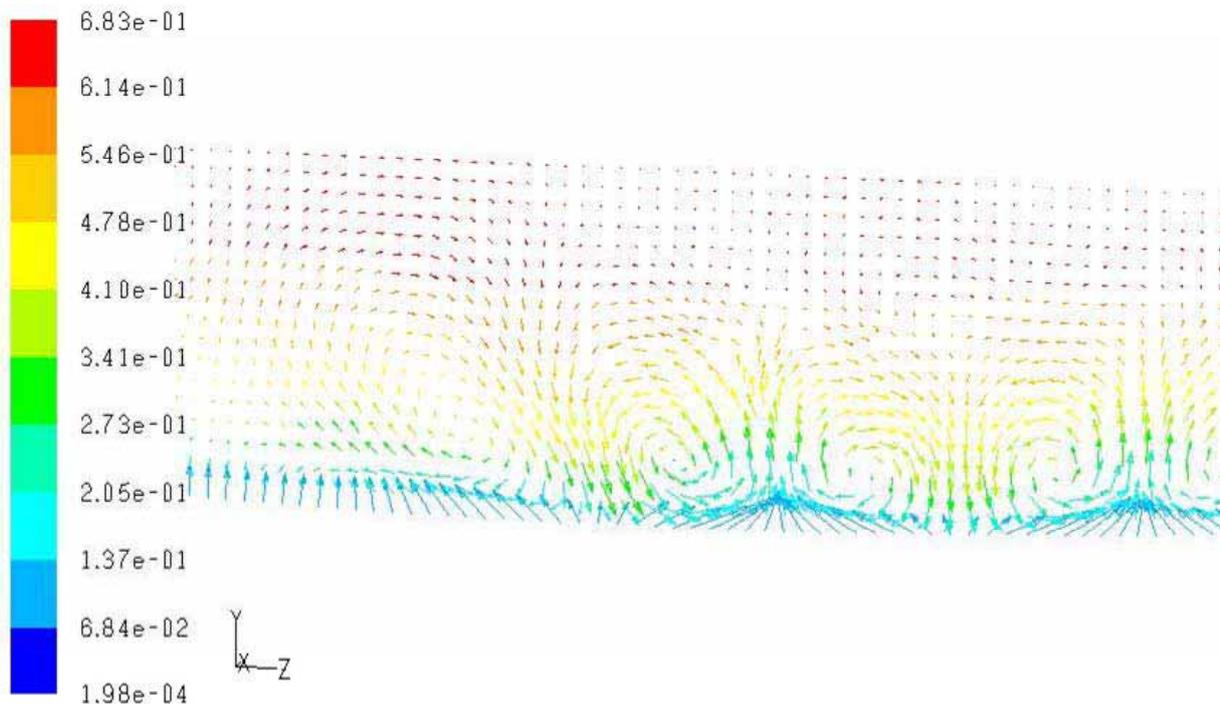
Exemples de résultats – Flux d'eau





GRAIE – GRAND LYON - Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009

Courants secondaires (h = 3 cm)



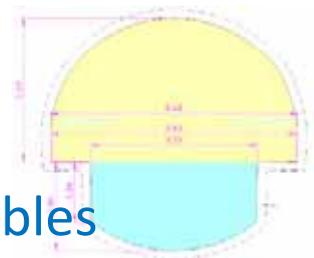
GRAIE – GRAND LYON - Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009

Autres travaux

- Incertitudes sur volumes et masses
- Stratégies d'échantillonnage
- Analyse de sites de mesure de débit
- Optimisation emplacement capteurs
-

Conclusions

- Mesurages en continu en réseau
- Méthodes transférables et applicables par gestionnaires
- Méthodes implémentées dans un outil logiciel complet : étalonnage, incertitudes, validation...
- Version commerciale en 2010 (projet LST)
- Formations GRAIE spécifiques en 2010



Quoi de neuf dans les eaux pluviales : les substances prioritaires de la DCE

Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI, Céline
BECOUZE, Abel DEMBÉLÉ, INSA de Lyon
Marina COQUERY, CEMAGREF de Lyon



QUOI DE NEUF DANS LES EAUX PLUVIALES : LES SUBSTANCES PRIORITAIRES DE LA DCE

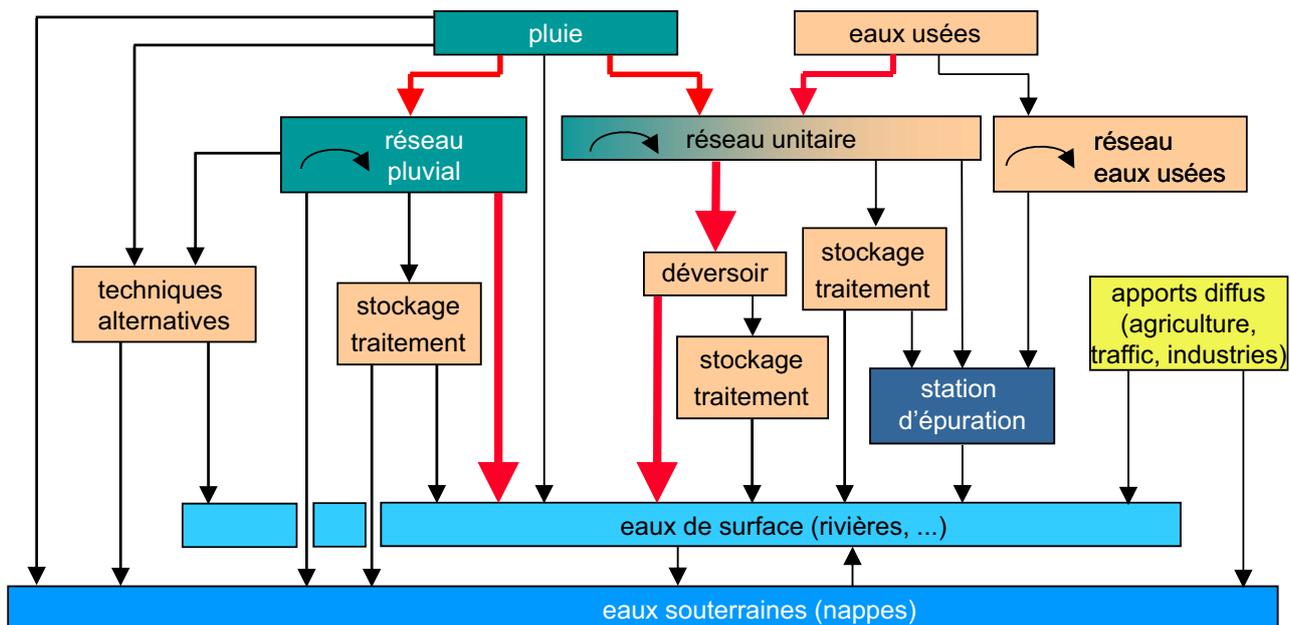
Jean-Luc Bertrand-Krajewski, Céline Becouze,
Abel Dembélé, Marina Coquery, Cécile Cren-Olivé



GRANDLYON **grale**

Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009

APPROCHE GLOBALE

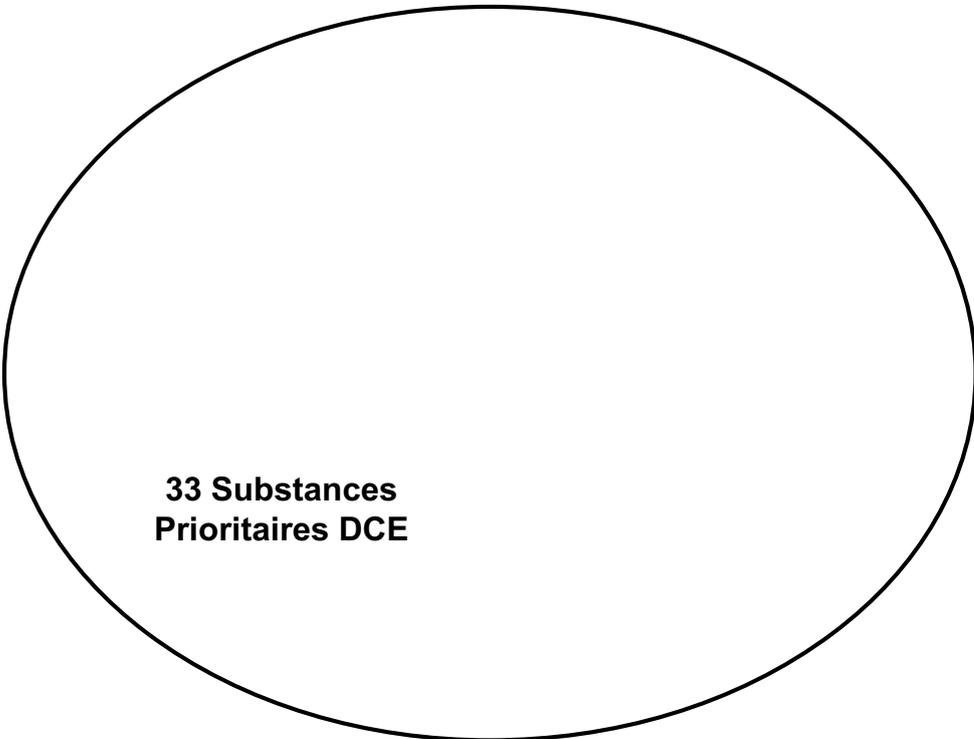


Liens avec projets AMPERES, DEMA

CONTEXTE DE L'ETUDE

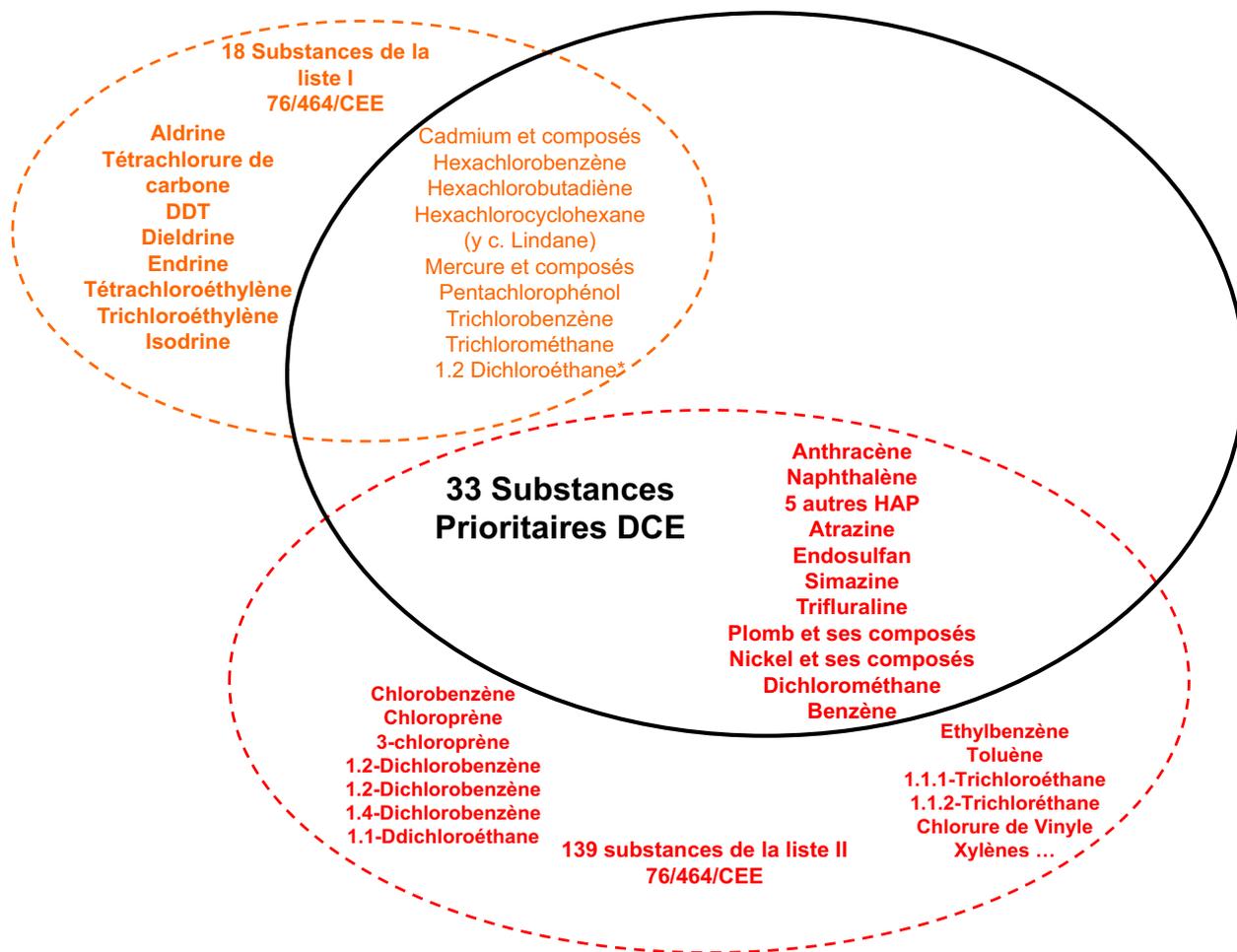
- Directive Cadre sur l'Eau 2000 / 60 / CE
 - Objectif : atteinte du « bon état » biologique et chimique des milieux aquatiques d'ici 2015 (!?)
 - Liste de 33 + 8 substances prioritaires dont 11 prioritaires dangereuses

3

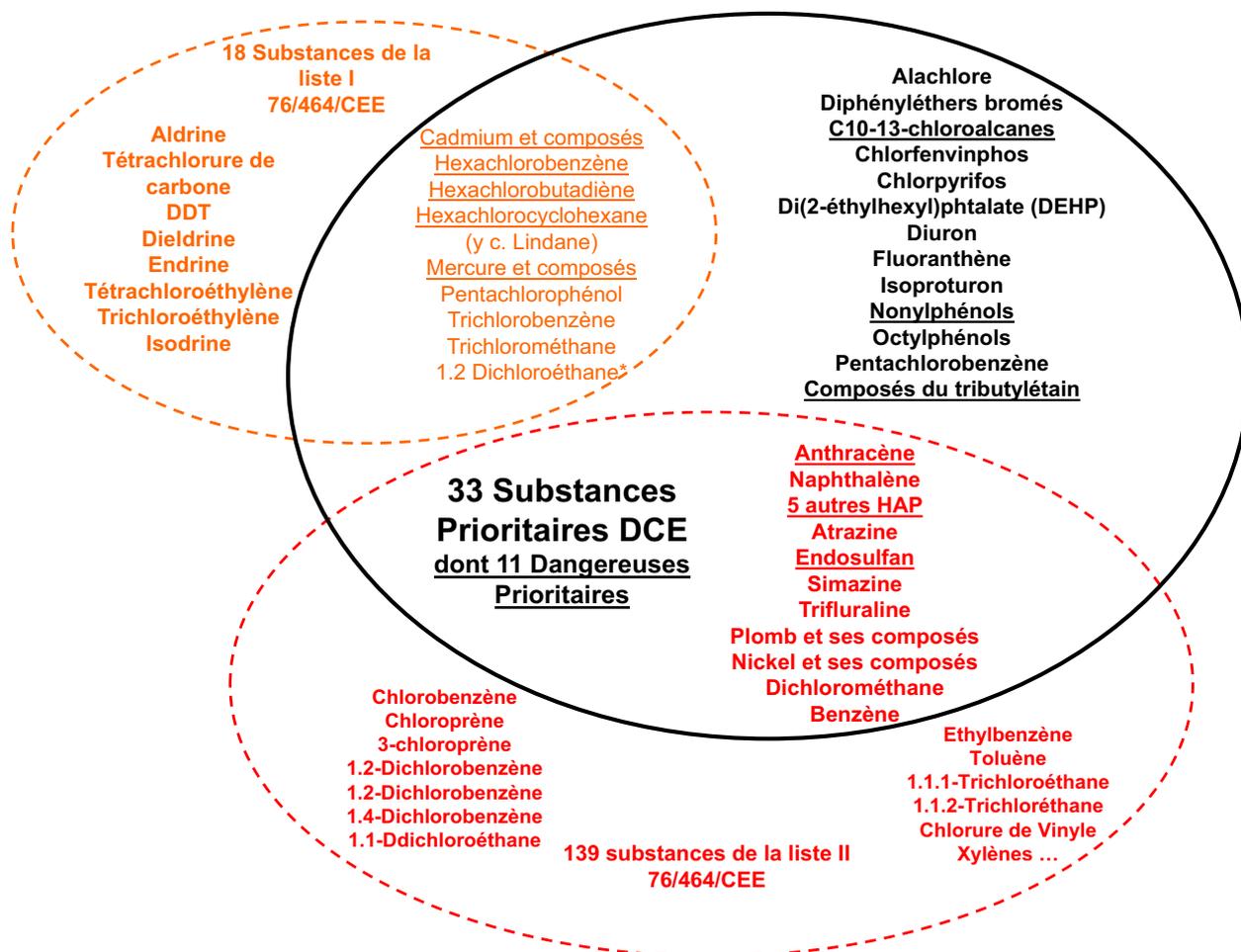


**33 Substances
Prioritaires DCE**

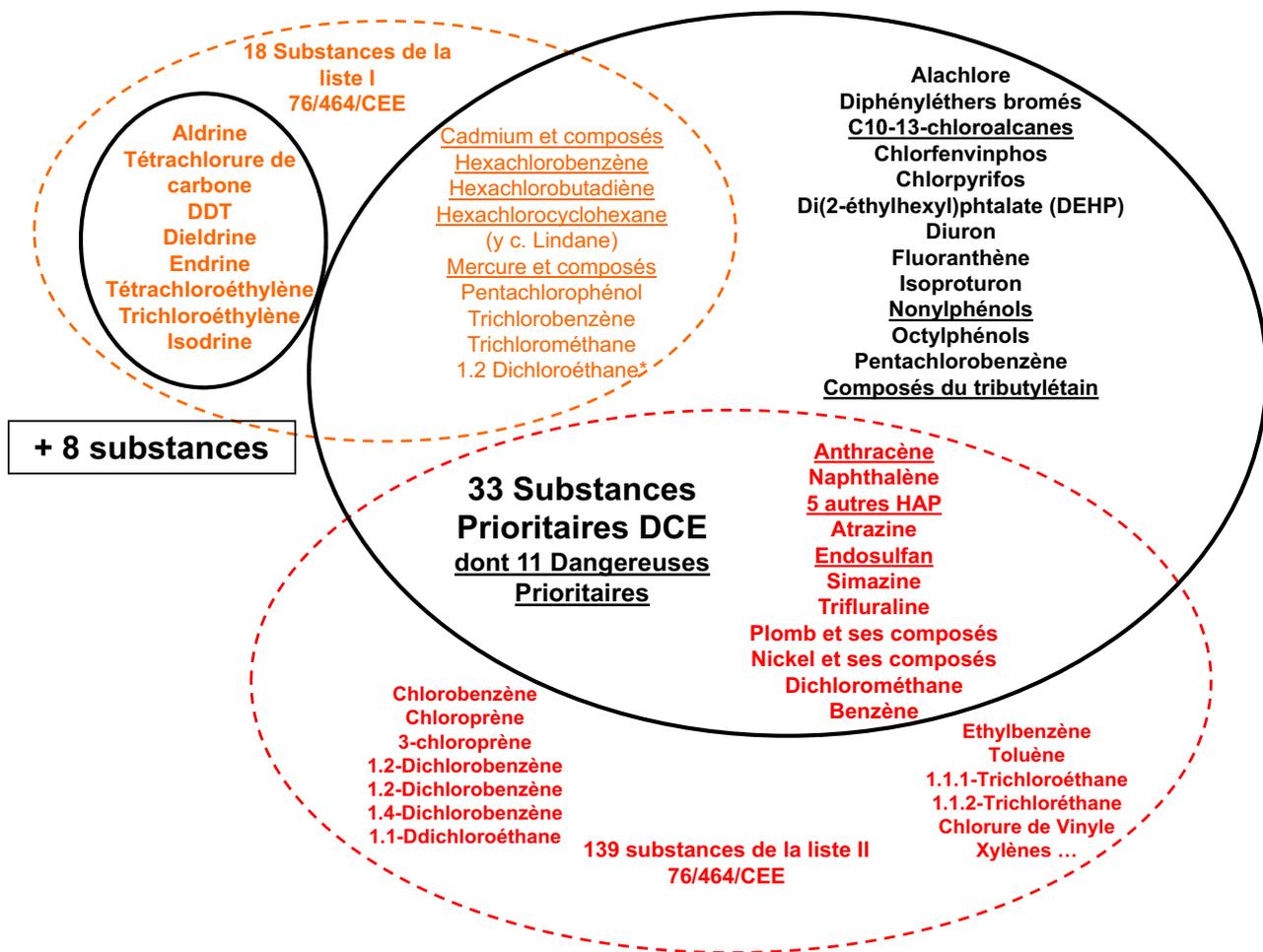
4



5



6

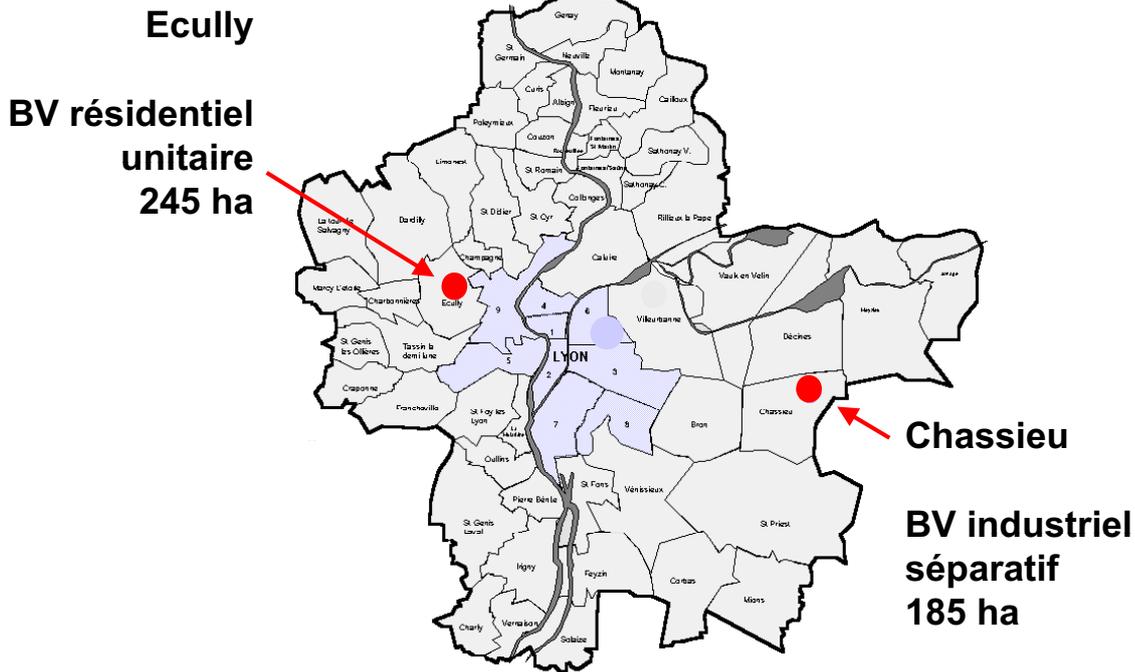


7

OBJECTIFS

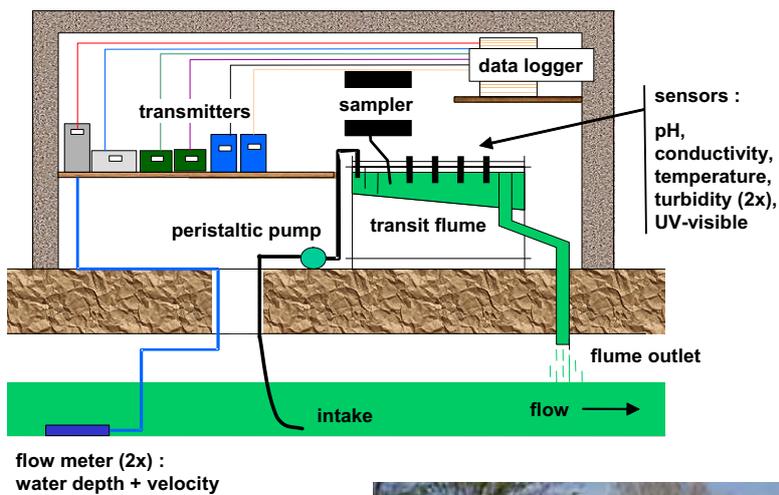
- Flux de Substances Prioritaires (33+8 DCE)
 - Rejets réseaux assainissement par temps de pluie
 - séparatif eaux pluviales
 - unitaire (temps de pluie + temps sec)
 - Retombées atmosphériques sèches et eaux météoriques
- CME + caractérisation physico-chimique
- Variabilités inter-événementielle et inter-site
- Modélisation globale des flux
- Contribution à une approche globale BV

8



9

EQUIPEMENTS OTHU



10

EQUIPEMENTS SPECIFIQUES



Echantillonneur
retombées atmosphériques
+ pluviographe



Préleveur Büher 4010
Teflon + flacons verre

11

41 POLLUANTS PRIORITAIRES + 22 METAUX

n°	Nom	n°	Nom
1	Alachlor * **	23	Nickel
2	Anthracene **	24	Nonylphenols (4-(para)-nonyphenol) **
3	Atrazine * **	25	Octylphenols (para-tert-octylphenol) **
4	Benzene	26	Pentachlorobenzene
5	Brominated diphenylethers	27	Pentachlorophenol
6	Cadmium	28	Polyaromatic hydrocarbons **
7	C ₁₀ -C ₁₃ -chloroalkanes		(Benzo(b)fluoranthene **, Benzo(g,h,i)perylene**, Benzo(k)fluoranthene **, Indenol(1,2,3-cd)pyrene) **
8	Chlorfenvinphos * **	29	Simazine **
9	Chlorpyrifos *	30	Tributyltin compounds (tributyltin cation)
10	1,2-Dichloroethane	31	Trichlorobenzenes (1,2,4-Trichlorobenzene) *
11	Dichloromethane	32	Trichloromethane (Chloroform)
12	Di(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) **	33	Trifluralin *
13	Diuron **		
14	Endosulfan (alpha-endosulfan) *		
15	Fluoranthene **		
16	Hexachlorobenzene *	1	DDT total (para-para-DDT) *
17	Hexachlorobutadiene *	2	Aldrin *
18	Hexachlorocyclohexane * (gamma-isomer, Lindane *)	3	Dieldrin *
		4	Endrin *
19	Isoproturon **	5	Isodrin *
20	Lead	6	Carbontetrachloride
21	Mercury	7	Tetrachloroethylene
22	Naphtalene *	8	Trichloroethylene

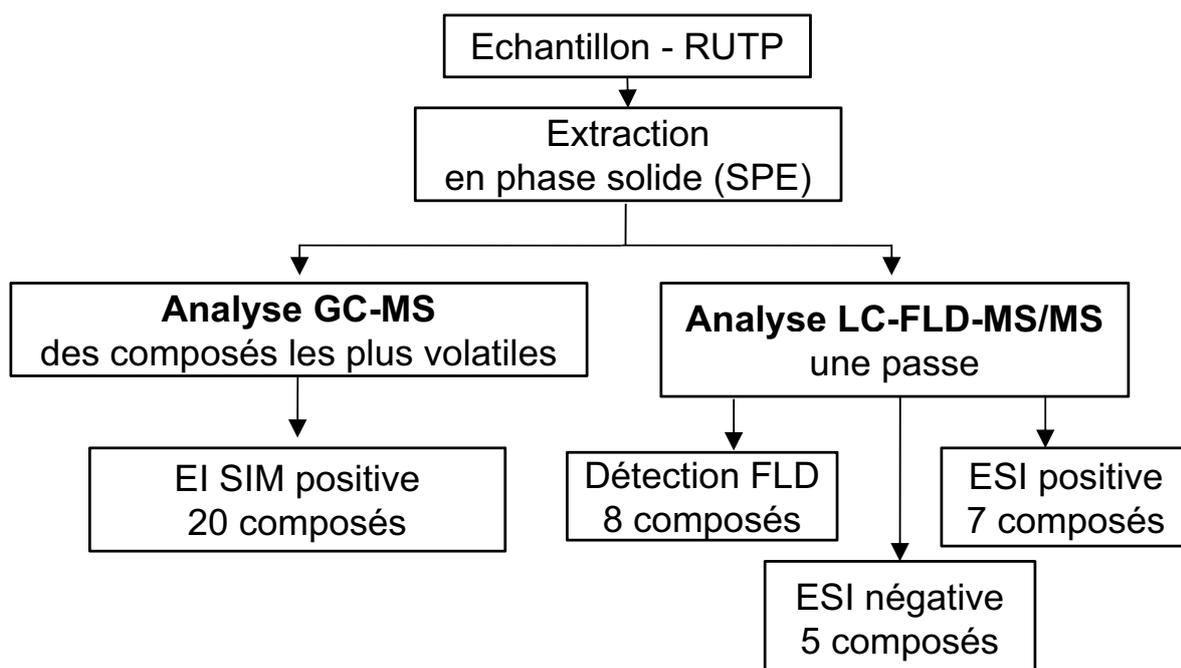
12

PROTOCOLES ANALYTIQUES

- Métaux (Cemagref Lyon)
ICP-MS, phases dissoute et particulaire
- Substances organiques (CNRS)
méthode multi-résidus spécifique (projet DEMA)
 - phase dissoute : opérationnel
 - phase particulaire : validation en cours
- MES et DCO (INSA Lyon)
MES norme Afnor et DCO micro-méthode Dr Lange
- Triplicats systématiques, évaluation des incertitudes
- Blancs préleveurs et bacs

13

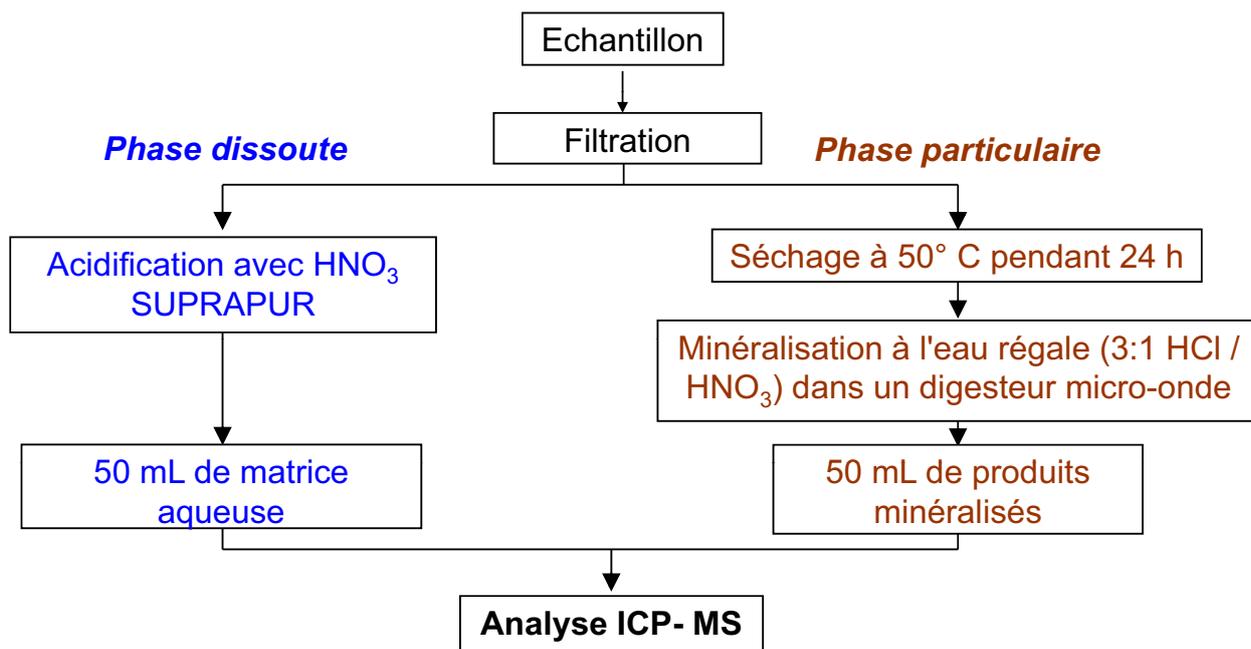
Méthodes analytiques organiques



14

14

Méthodes analytiques métaux



15

15

LOD / LOQ

N°	Noms des substances	NQE-MA (ng/L) Eaux de surface intérieures	LOD (en ng/L)	LOQ (en ng/L)
1	Alachlore * **	300	1	9
2	Anthracène **	100	0,5	1
3	Atrazine * **	600	0,1	1
4	Benzène	10000		
5	Diphényléthers bromés	0,5		
6	Cadmium			10
7	Chloroalcanes C10-13	400		
8	Chlorfenvinphos * **	100	0,1	0,5
9	Chlorpyrifos *	30	25	53
10	1,2 - dichloroéthane	10000		
11	Dichlorométhane	20000		
12	Di (2-éthylhexyl) phtalate (DEHP)**	1300	5	17
13	Diuron **	200	1,6	6
14	Endosulfan *	5	41	67
15	Fluoranthène **	100	1	2
16	Hexachlorobenzène *	10	8	36
17	Hexachlorobutadiène *	100	6	27
18	Hexachlorocyclohexane -Lindane *	20	11	35
19	Isoproturon **	300	0,7	2
20	Plomb	7200		100
21	Mercure	50	0,2	0,5
22	Naphtalène *	2400	8	30
23	Nickel	20000		50

N°	Noms des substances	NQE-MA (ng/L) Eaux de surface intérieures	LOD (en ng/L)	LOQ (en ng/L)
24	Nonylphénol (4-nonylphénol) **	300	4	30
25	Octylphénol (Para-ter-octylphénol)**	100	4	15
26	Pentachlorobenzène	7		
27	Pentachlorophénol**	400	0,2	0,7
28	HAP **			
	Benzo(a)pyrène **	50	0,5	3
	Benzo(b)fluoranthène **	Σ = 30	0,5	1
	Benzo(g,h,i)perylène **		0,5	1
	Benzo(k)fluoranthène **	Σ = 2	0,5	1
	Indéno(1,2,3-cd)pyrène **		0,5	1
29	Simazine **	1000	0,01	0,2
30	Tributylétain TBT	0,2		
31	Trichlorobenzène TCB *	400	6	25
32	Trichlorométhane	2500		
33	Trifluraline *	30	12	45
	Tétrachlorure de carbone	12000		
	Para-para DDT *	10	12	41
	Tétrachloroéthylène	10000		
	Trichloroéthylène	10000		
	Aldrine *	Σ = 10	7	32
	Dieldrine *		6	28
	Endrine *		18	42
	Isodrine *		23	49

16

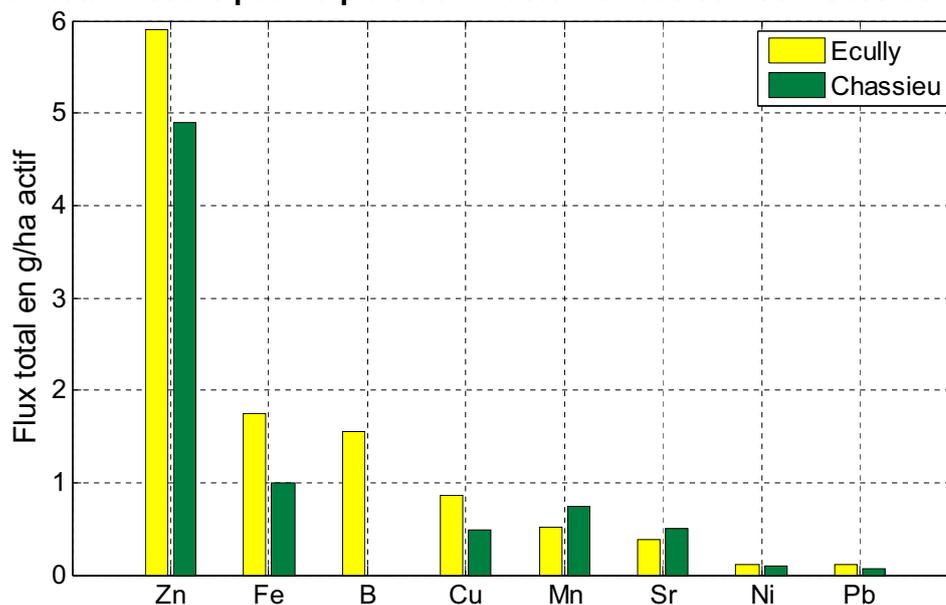
88

QUELQUES PREMIERS RESULTATS

17

EM : VARIABILITE INTER-SITE

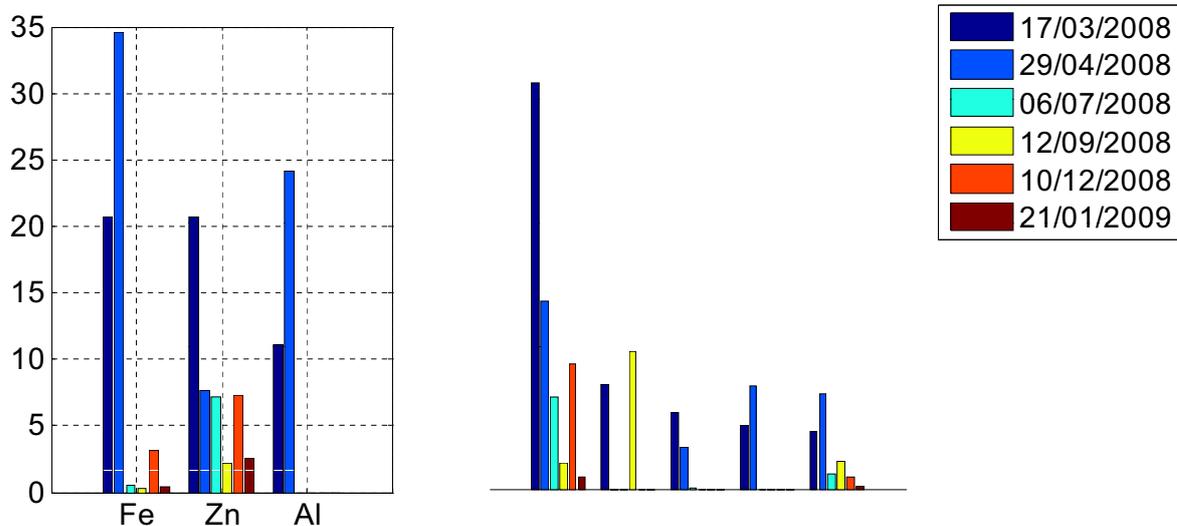
Flux total mesuré pour la pluie du 22 octobre 2008 sur les 2 sites de mesure



PS: Les autres métaux ne sont pas détectés dans l'échantillon

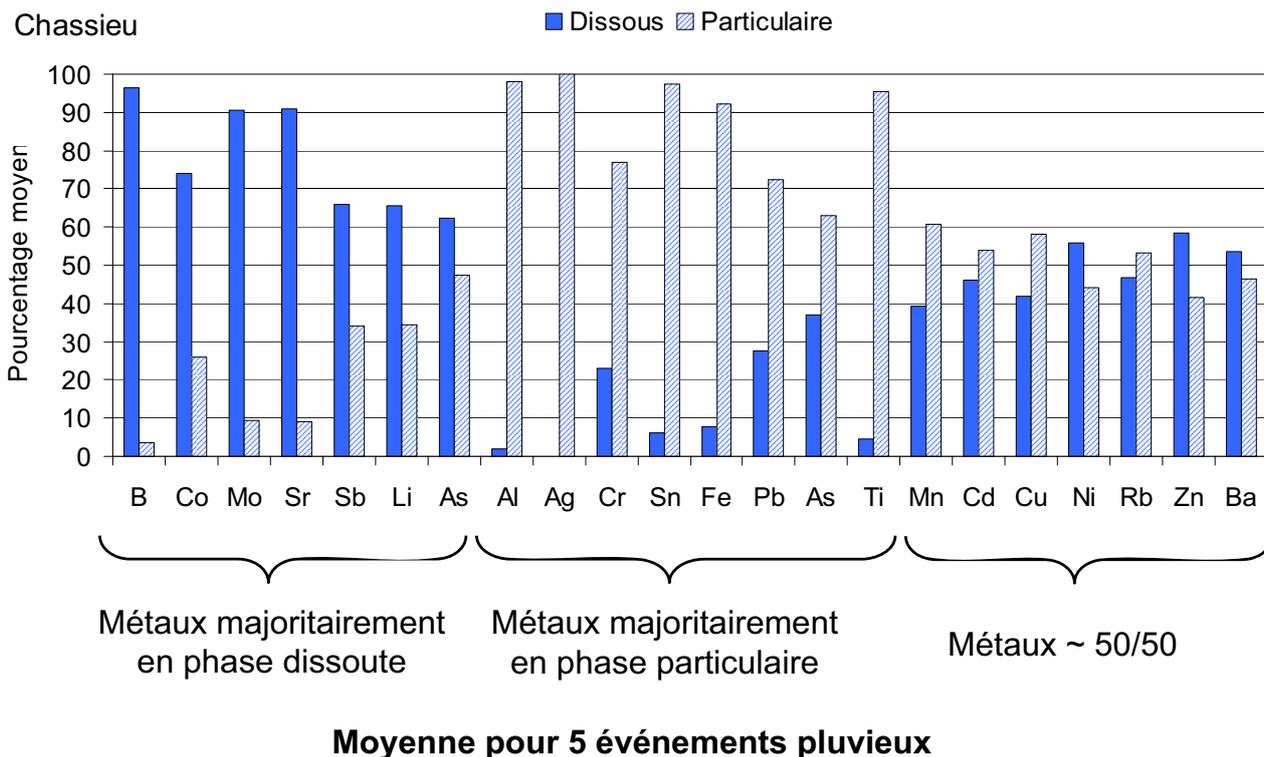
18

EM : VAR. INTER-EVENEMENTIELLE



19

RUTP : DISSOUS / PARTICULAIRE



20

COMPARAISON NQE

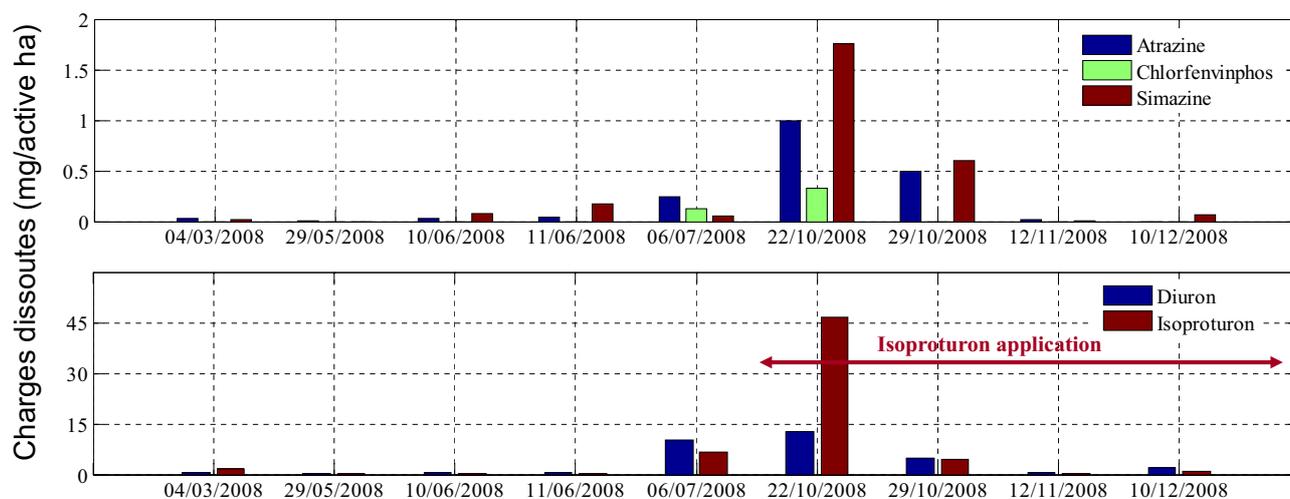
	CME moyenne dissoute (µg/L) Ecully	CME moyenne dissoute (µg/L) Chassieu	NQE (µg/L)
B	56.94	88.51	218 ¹
Cu	9.18	10	1.4 ¹
Ti	12.27	2.55	2 ¹
Zn	30.03	144.58	5.45 ¹
Cd*	0.05	0.14	0.08 ²
Pb*	0.84	5.02	7.2 ²
Ni*	1.23	2.27	20 ²

¹ Réf. : Circulaire mai 2007

² Réf. : Directive fille décembre 2008

21

RUTP - VAR. INTER-EVENEMENTIELLE

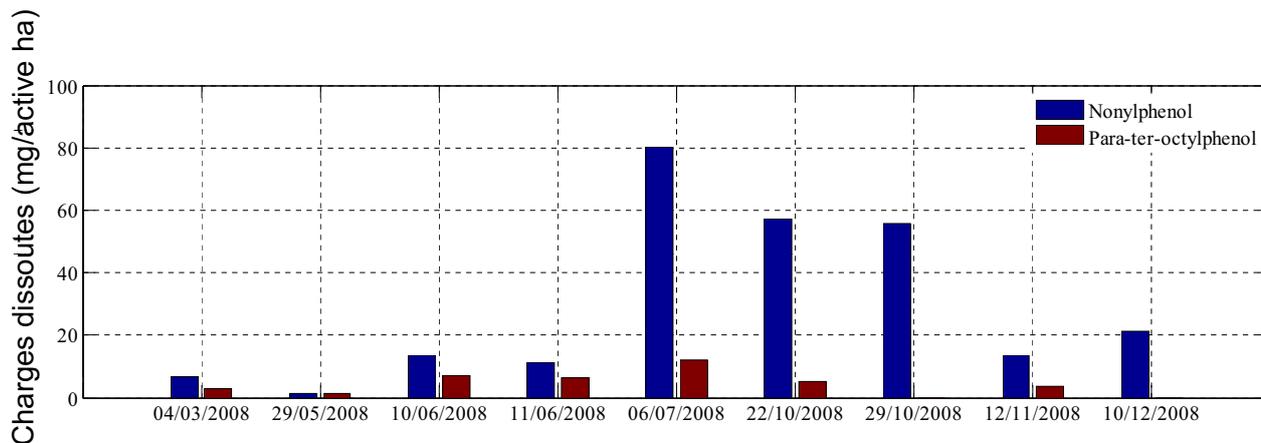


**Charges dissoutes (mg/active ha) mesurées
à Chassieu pour 9 événements**

22

91

RUTP - VAR. INTER-EVENEMENTIELLE



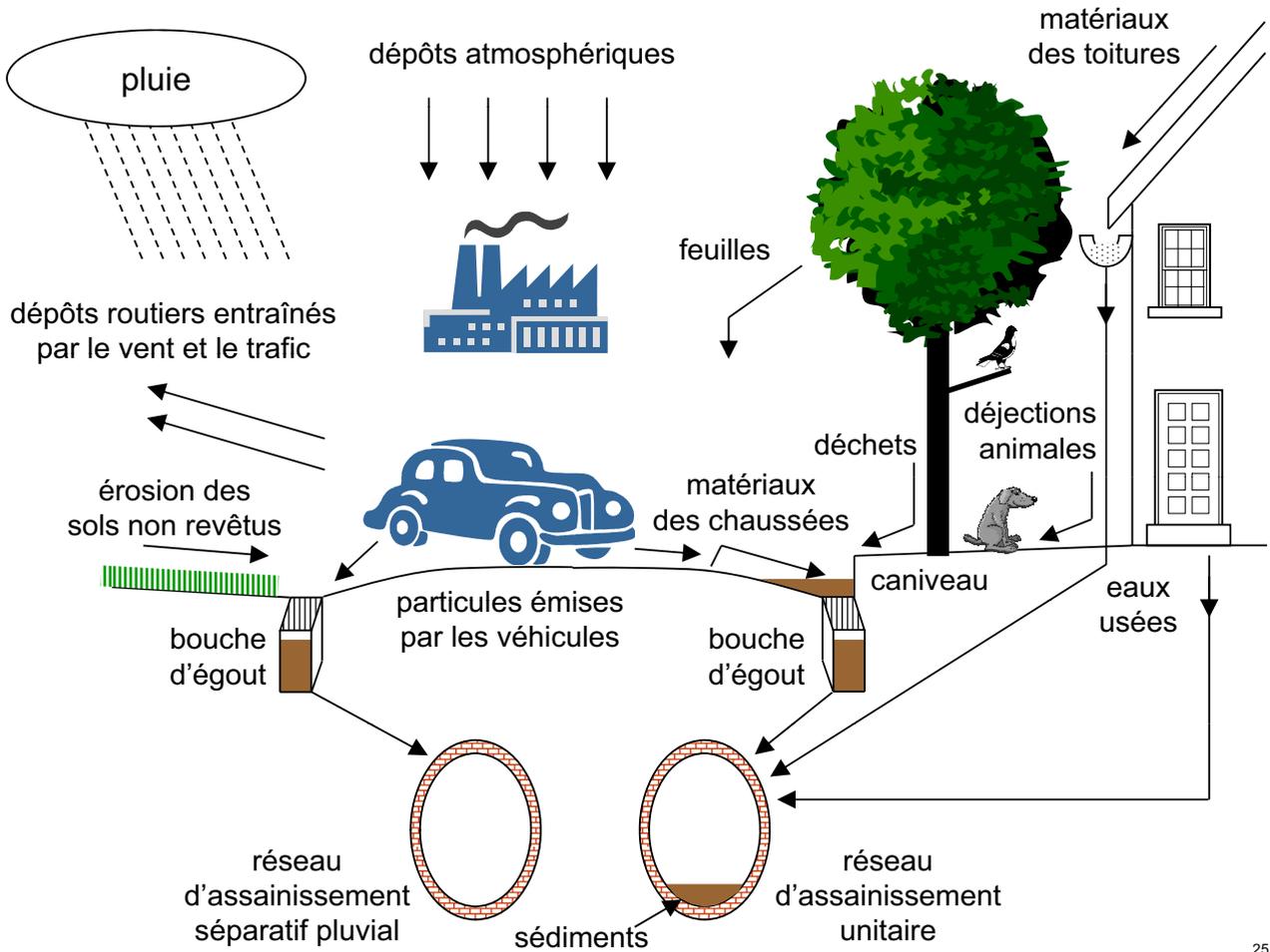
Charges dissoutes (mg/active ha) mesurées à Chassieu pour 9 événements

23

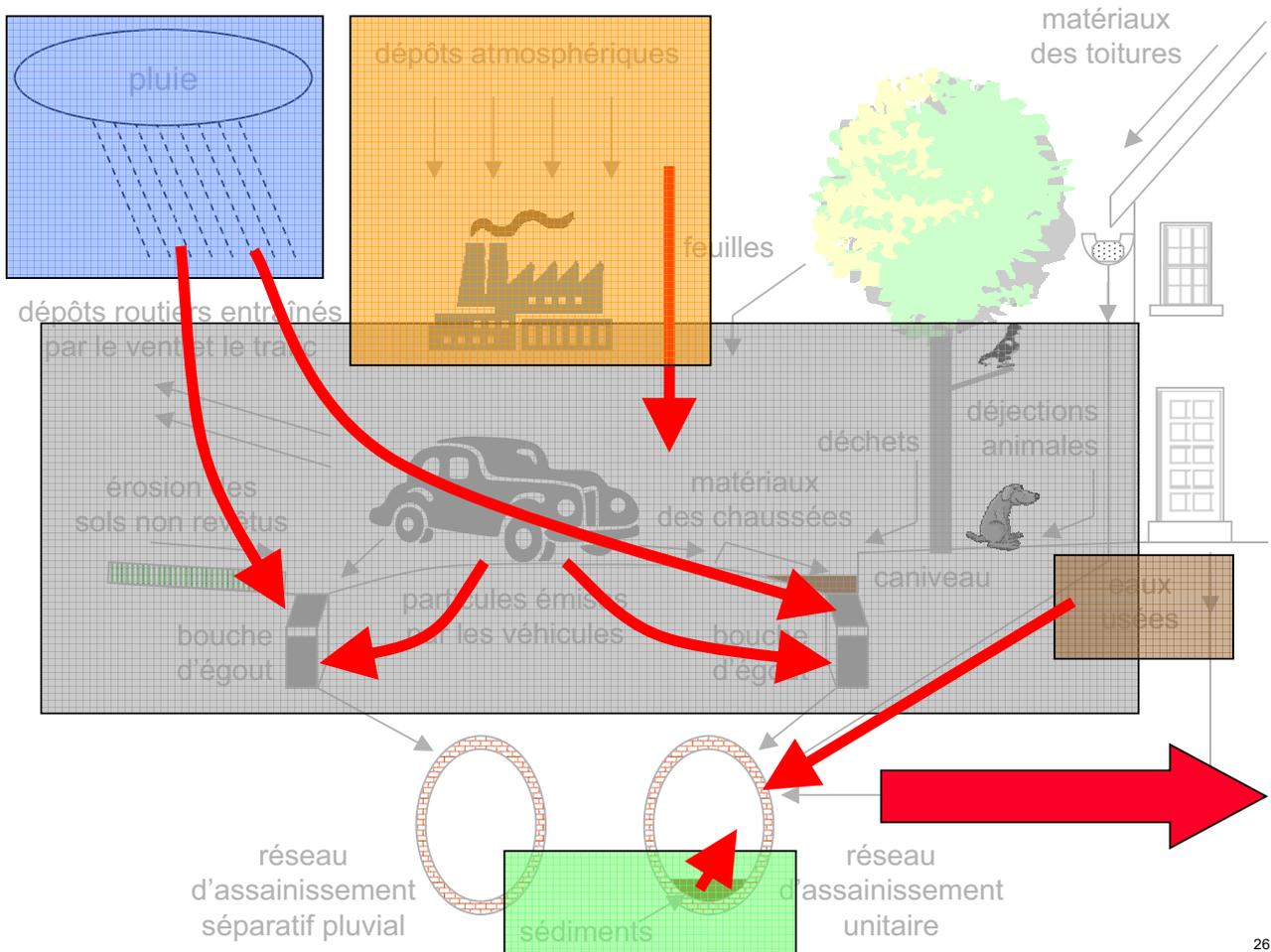
MODELISATION

- Modèles de régression pour CME
 $CME = f(\text{pluie, temps sec antérieur, BV,})$
- Modèles conceptuels
 $CME = f(\text{différentes sources et transferts...})$

24



25



26

CONCLUSIONS

- Dispositif expérimental fonctionnel sur deux sites
- Premiers résultats
 - phases particulaires et dissoute
 - calcul des masses et des flux spécifiques
 - comparaison inter-site et inter-événementielle : grande variabilité
- Poursuite des campagnes de mesure en 2009-2010
 - estimation des contributions atmosphère / BV / temps sec
 - élaboration de modèles de flux
- Site internet : www.esprit-rhodanos.fr



Infiltration des eaux pluviales : apports, impacts, préconisations

Sylvie BARRAUD, INSA de Lyon/ UCBL Lyon 1
Cécile DELOLME, Thierry WINIARSKI, ENTPE
Florian MALARD, UCBL LYON 1

Infiltration des eaux pluviales : apports, impacts, préconisation

**C. Delolme, T. Winiarski, L.S.E.
ENTPE**

**F. Malard, LEHF, Univ Lyon 1
S. Barraud, LGCIE INSA**

Les questions opérationnelles

– Comment gérer la surface des bassins?

- Quelles caractéristiques, quel est le niveau de pollution ?
- Colmatage évolution dans le temps
- Quelle capacité de piégeage des polluants, risques de mobilisation vers le sous-sol?
- Que faire de ces matériaux?

– Quels sont les impacts de ces pratiques sur la nappe

- Quel impact sur la température?
- Quel impact sur la qualité de la nappe ?



Les questions scientifiques

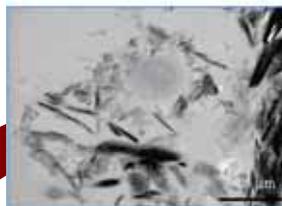
- Quelles sont les propriétés bio-physico-chimiques des matériaux de surface des bassins ?
 - Décrire les propriétés physiques, chimiques et biologiques d'un matériau complexe?
 - Comprendre et modéliser la solubilisation des polluants
 - Quel est le rôle du compartiment microbien?
- Quels sont les impacts de ces pratiques sur la nappe ?
 - Comment évolue la température de la nappe ?
 - Quel sont les éléments qui atteignent la nappe? Quels sont les effets sur le fonctionnement biogéochimiques?



Nécessité de mener une approche à plusieurs échelles

Echelle microscopique

Echelle millimétrique



Echelle macroscopique



Echelle mégascopique :
Sites OTHU



Les caractéristiques globales

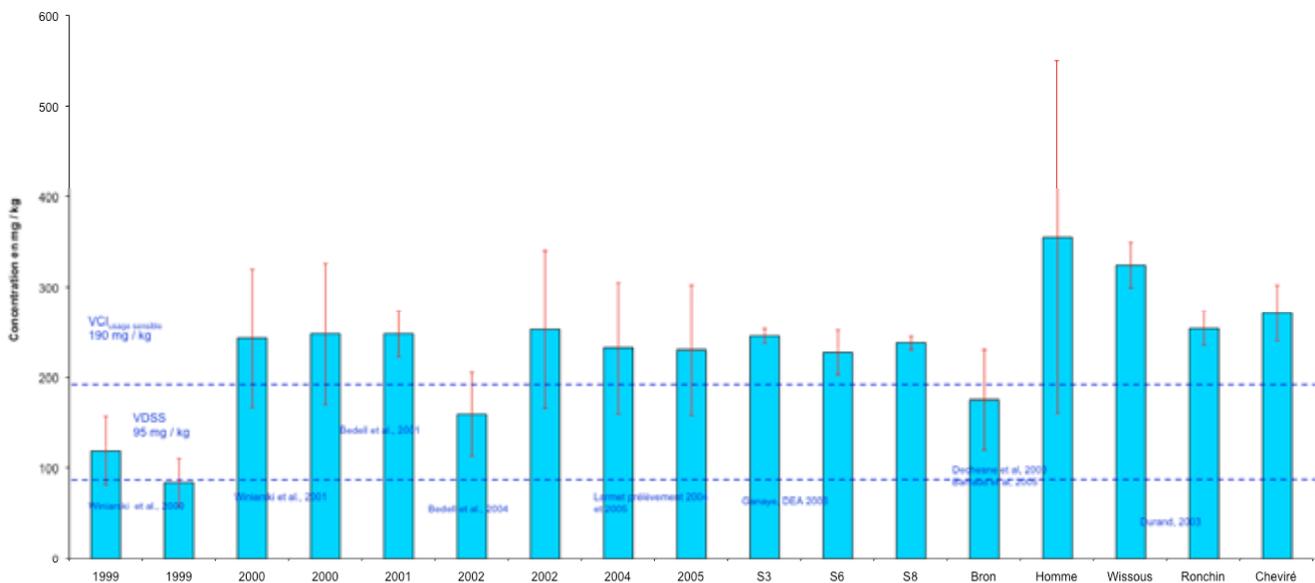
		10 Mai 2006	10 Avril 2007	31 Juillet 2007	11 Septembre 2007	10 Décembre 2007
Teneur en eau (n=30)	% poids sec	0.39 ± 0.07	0.14 ± 0.07	0.05 ± 0.03	0.05 ± 0.01	0.36 ± 0.04
pH (n=15)		7.3 ± 0.1	7.3 ± 0.1	6.9 ± 0.1	7.1 ± 0.1	7.4 ± 0.1
Perte au Feu (n=15)	% poids sec	10 ± 2	10 ± 3	11 ± 1	12 ± 1	14 ± 4
COT (n=3)	% poids sec	4.0 ± 1.7	5.3 ± 0.1	4.4 ± 1.7	5.2 ± 0.7	5.6 ± 0.7
Zn (n=15)	g.kg ⁻¹	1.21 ± 0.13	1.25 ± 0.20	1.13 ± 0.12	1.10 ± 0.08	1.09 ± 0.10
Pb (n=15)	mg.kg ⁻¹	377.7 ± 59.1	363.0 ± 105.9	254.9 ± 47.9	318.0 ± 38.8	298.3 ± 65.9
Cu (n=15)	mg.kg ⁻¹	214.5 ± 30.1 ^a	120.3 ± 27.1 ^d	119.7 ± 18.6 ^d	173.9 ± 12.9 ^b	148.9 ± 15.1 ^c
Cd (n=15)	mg.kg ⁻¹	15.0 ± 2.0 ^o	11.9 ± 4.4 ^b	9.6 ± 2.2 ^d	10.9 ± 2.1 ^c	9.7 ± 2.5 ^d
Ni (n=15)	mg.kg ⁻¹	88.4 ± 15.2 ^c	142.4 ± 12.5 ^o	143.7 ± 11.1 ^o	130.8 ± 10.8 ^b	81.3 ± 12.5 ^d
Cr (n=15)	mg.kg ⁻¹	81.1 ± 7.3	94.5 ± 19.3	78.1 ± 10.0	96.1 ± 10.0	89.5 ± 8.8
Nbre bactéries (n=5)	Nbre bact. / g sed sec x 10 ⁺⁹	35.4 ± 9.5	8.3 ± 4.3	12.4 ± 1.6	12.7 ± 2.5	37.4 ± 3.5
Biomasse	µg of N/g sed	301.0 ± 91.8	68.4 ± 16.3	28.3 ± 9.7	32.7 ± 8.5	165.0 ± 75.5
Hydrocarbures totaux		g/kg		3 à 20		
HAP		mg/kg		2 à 15		
Diuron		µg/kg		3 à 25		

- 🟢 10 à 15% de MO
- 🟢 Zn : 1000 à 2000 ppm
- 🟢 Pb : 200 à 400 ppm
- 🟢 Cu : 150 à 350 ppm
- 🟢 Hydrocarbures 0,3 à 2% en masse
- 🟢 Bactéries : 10⁹ à 10¹⁰/g



L'évolution dans le temps

Evolution de la concentration en Cu total

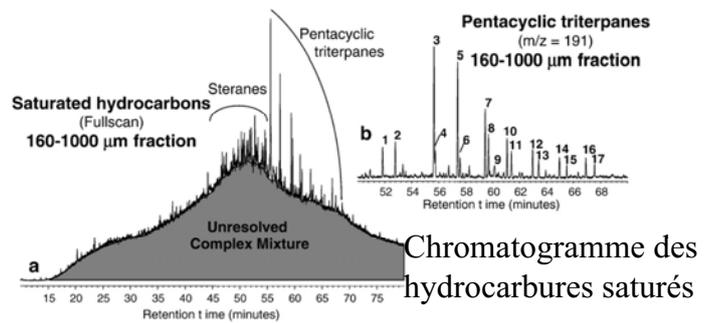




Les caractéristiques globales



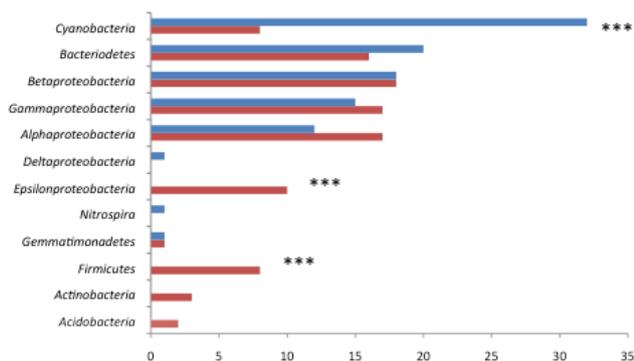
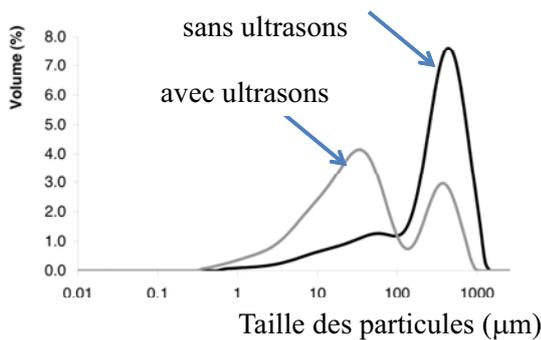
- Signature urbaine caractéristique
- Micro-organismes actifs : respiration, activités métaboliques
- Zone d'accumulation des MES et des polluants en surface (10 à 20 cm)
- Répartition des métaux suivant les zones sollicitées (Fiche Technique OTHU)



GRAIE – GRAND LYON - Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009



Un matériau structuré

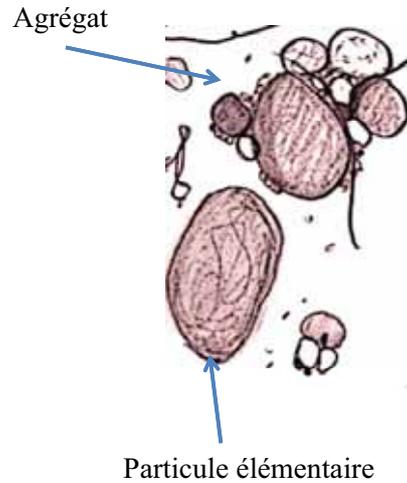
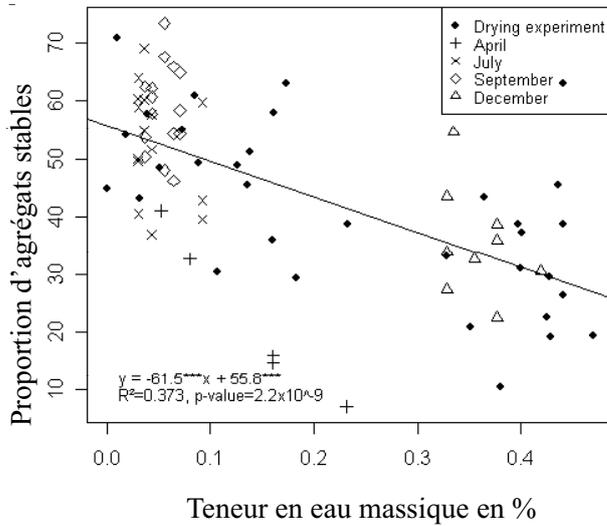


Proportion de clones dans les agrégats (bleu) et la fraction mobiles (rouge)

- Agrégats : 200 à 500 µm
- Particules élémentaires : 10 à 30 µm
- Facilite l'infiltration de l'eau
- Agrégation due à la matière organique
 - Hydrocarbures
 - Cyanobactéries

GRAIE – GRAND LYON - Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009

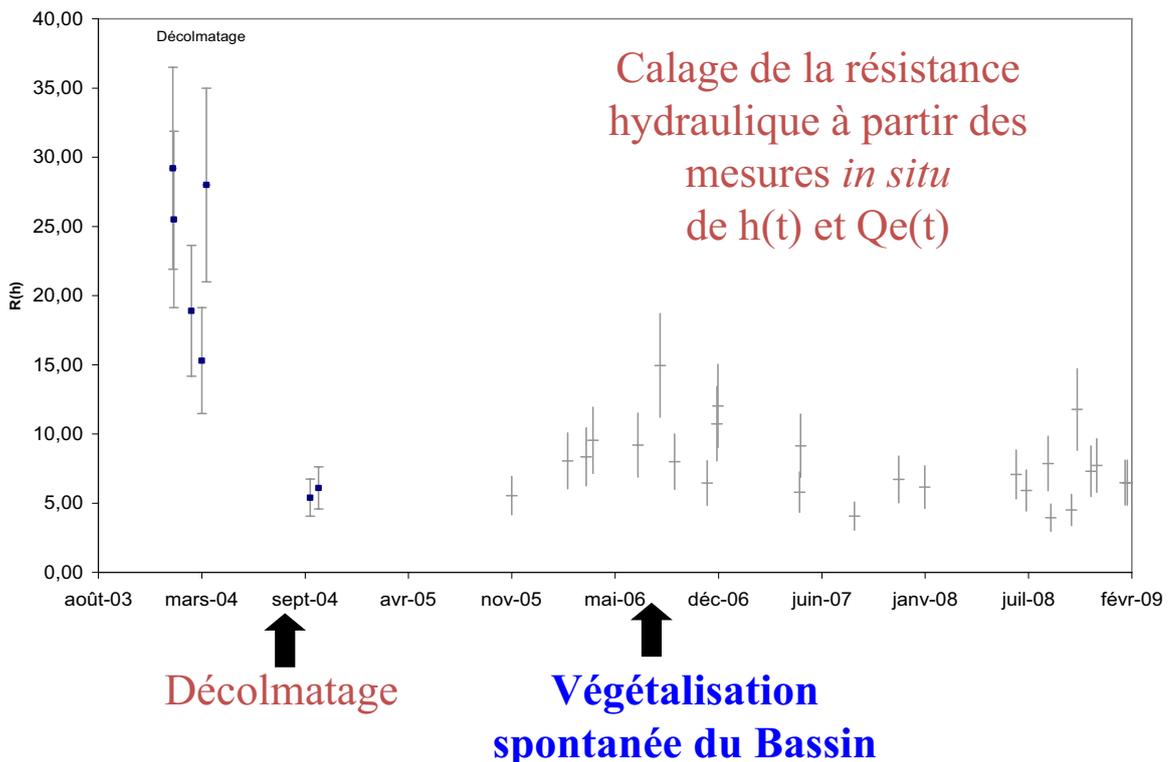
Un matériau qui évolue dans le temps



Favoriser des cycles de séchage/humidification

Un matériau qui évolue dans le temps

Evolution temporelle de la résistance hydraulique R(h)

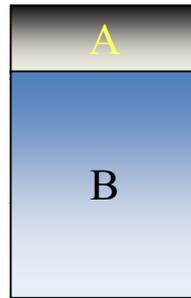




Quelle mobilité dans la zone non saturée?



Me



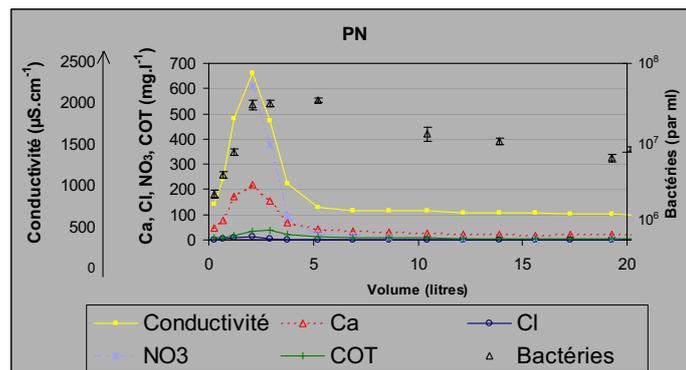
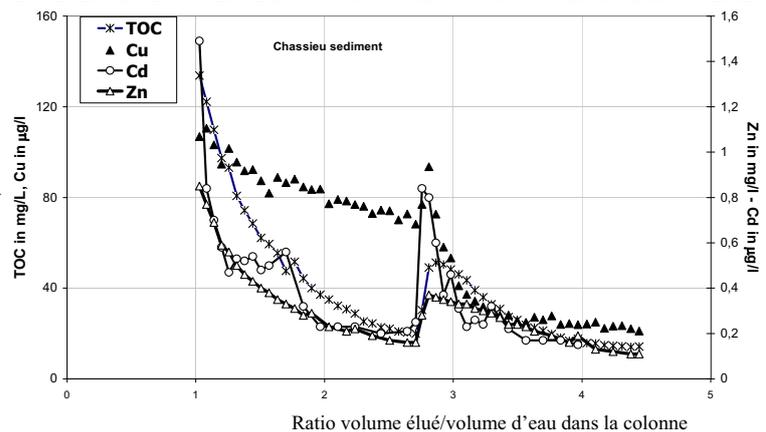
Me



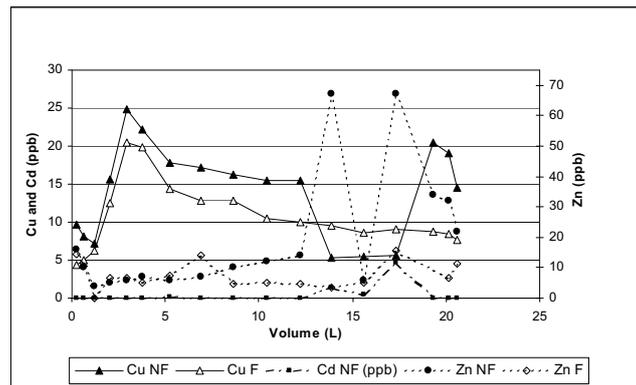
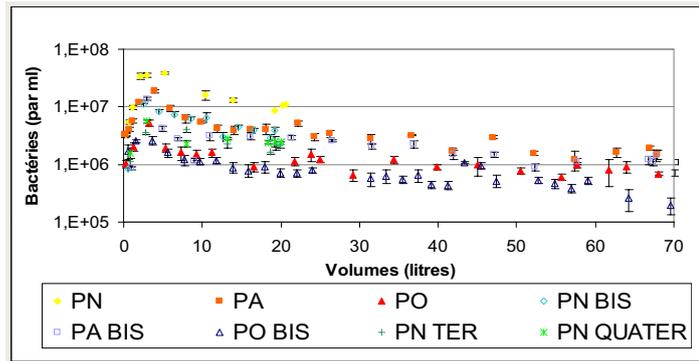
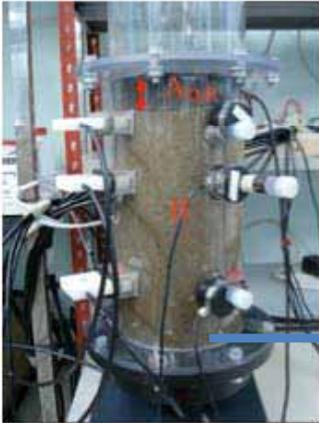
Evaluation de la mobilité potentielle en colonne de laboratoire simulant différents épisodes d'infiltration



Quelle mobilité dans la zone non saturée?



Les métaux peu mobiles



GRAIE – GRAND LYON - Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009

Quelle mobilité dans la zone non saturée?



COD mobile en forte concentration :

10 à 20 mg/L dans l'eau mobile

Très faible mobilité des métaux lourds piégés à la surface à chaque phase d'infiltration:

Zn : 0,05 à 0,15%

Cu : 0,20 à 0,50%

Mobilité importante des bactéries : 5 à 10% à chaque événement

GRAIE – GRAND LYON - Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009



Intérêt des approches en colonnes



Utilisation d'approche non normalisée (lixiviation)

Permet de simuler des temps de transfert réaliste

Permet d'approcher la qualité de l'eau dans la zone non saturée

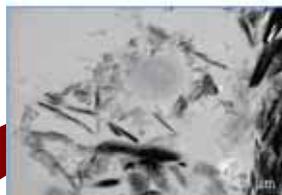
Permet l'optimisation des modèles de transfert d'eau et de polluants

GRAIE – GRAND LYON - Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009



Echelle microscopique

Echelle millimétrique



Modélisation du fonctionnement de la ZNS

Echelle mégascopique : Sites OTHU



Echelle macroscopique



GRAIE – GRAND LYON - Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009

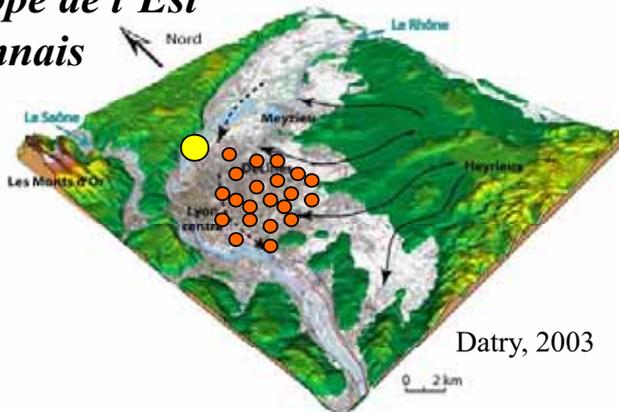
Quelques recommandations

– Comment gérer la surface des bassins?

- Gérer l'apport de polluants en amont des ouvrages d'infiltration
- Favoriser la structuration physique de la surface
 - Éviter les eaux de temps sec
 - Éviter l'arrivée de lumière (plante, couverture,...)
 - Favoriser l'apport de MO végétale
- Suivre les bactéries pathogènes

Augmentation du débit: le filtre est-il toujours efficace?

Nappe de l'Est lyonnais



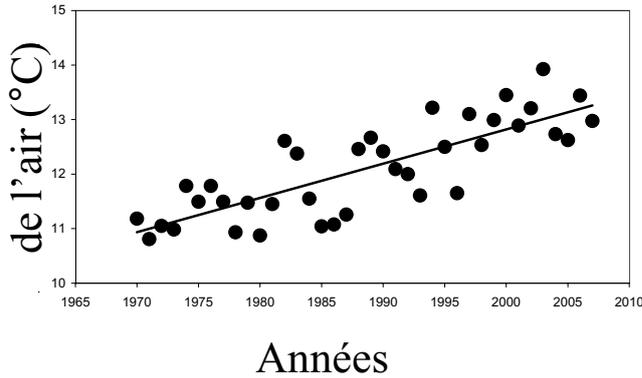
Bassin Django Reinhardt



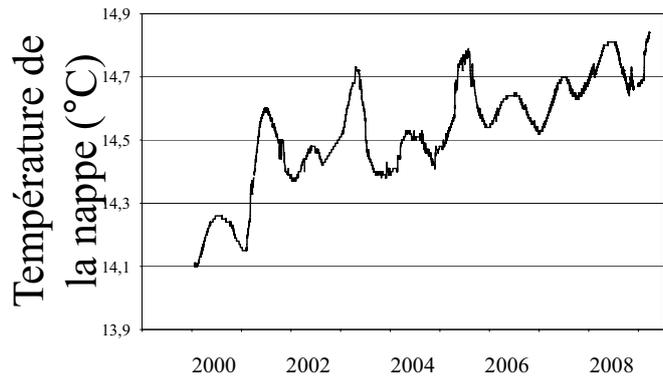


L'air de la ville de Lyon se réchauffe (poste de Bron),

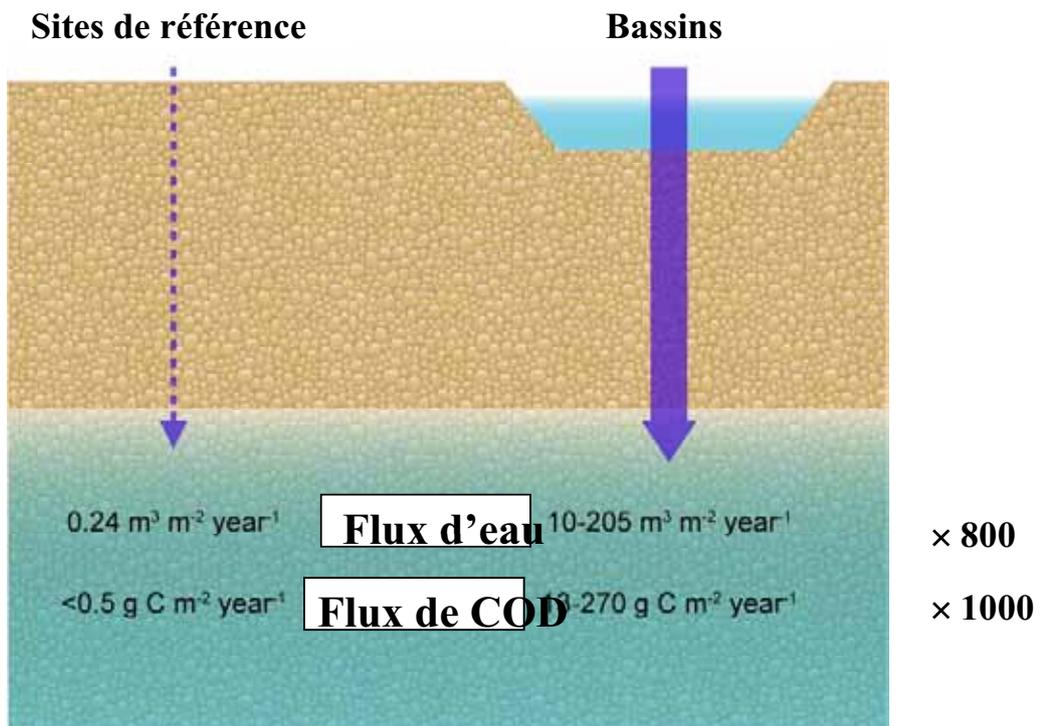
Température annuelle de l'air (°C)



l'eau de la nappe aussi (piézomètre amont, Django).

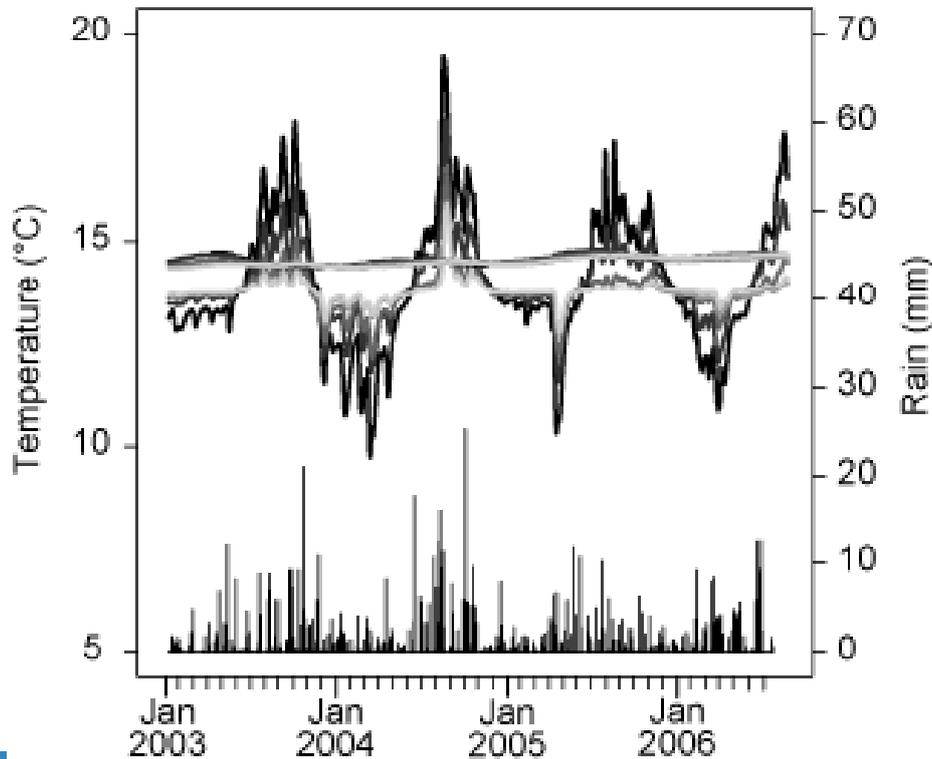


Augmentation des flux





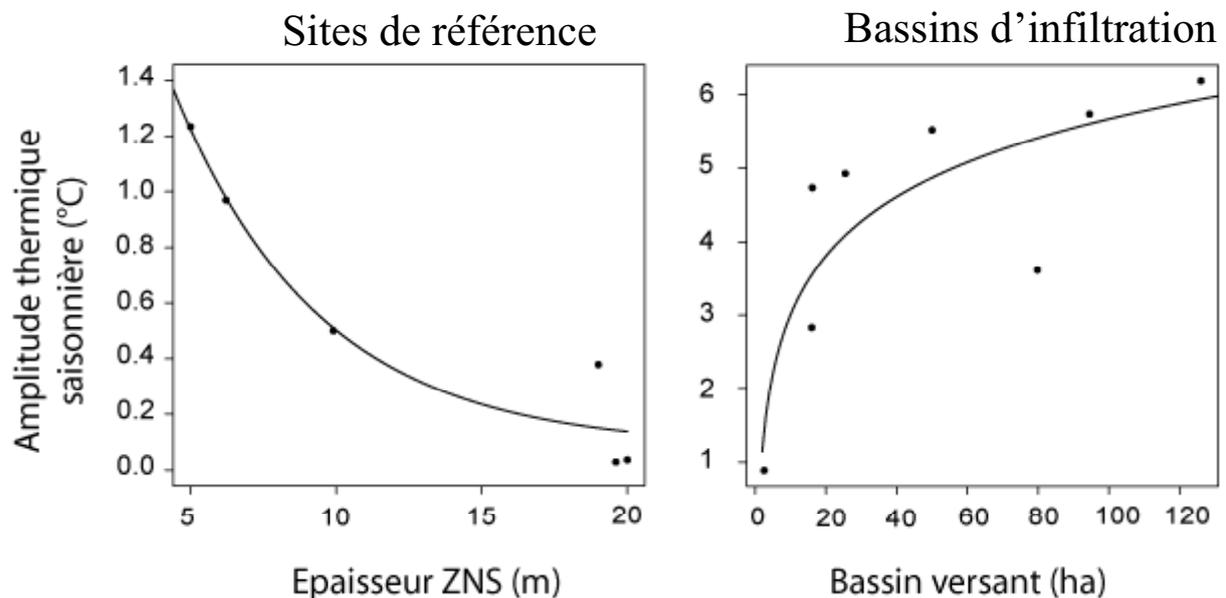
Température des eaux de nappe à l'amont et à l'aplomb du bassin de Django

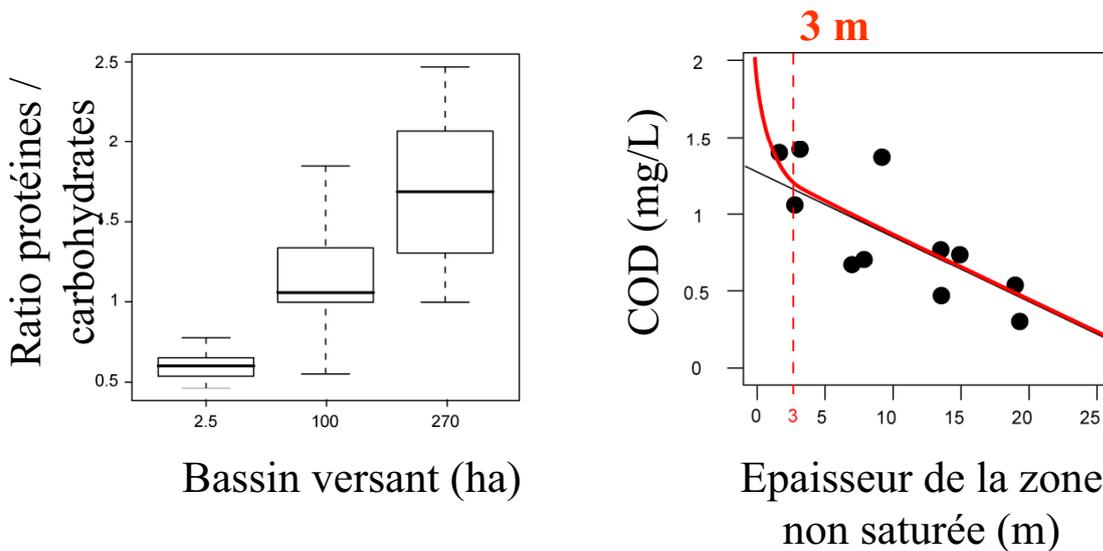
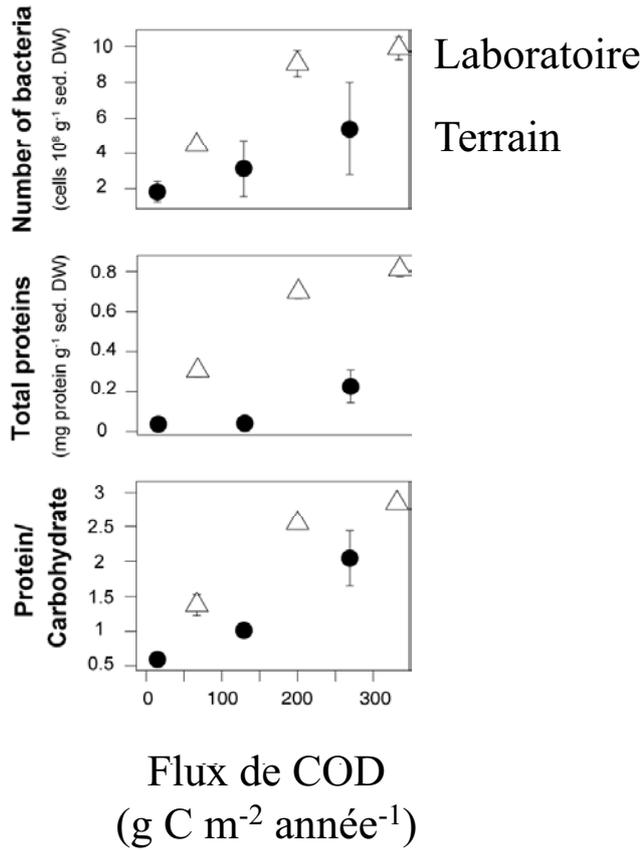


Mardi 20 octobre 2009



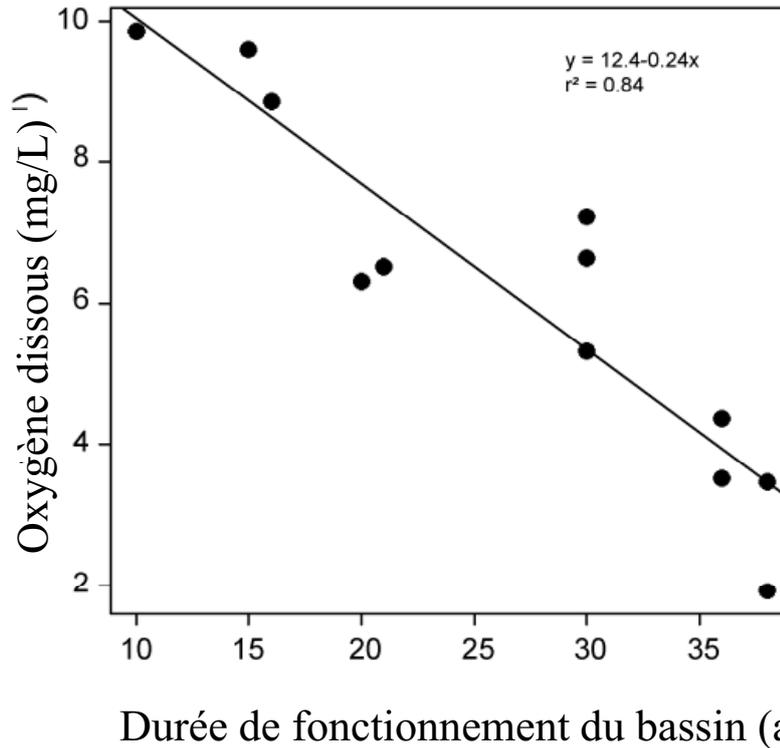
Amplitude thermique annuelle à l'aplomb des bassins d'infiltration







Mais... les sols accumulent de la matière organique



GRAIE – GRAND LYON - Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009



Les questions opérationnelles

– Comment gérer la surface des bassins?

- Quelles caractéristiques, quel est le niveau de pollution ?
- Colmatage évolution dans le temps
- Quelle capacité de piégeage des polluants, risques de mobilisation vers le sous-sol?
- Que faire de ces matériaux?

– Quels sont les impacts de ces pratiques sur la nappe

- Quel impact sur la température?
- Quel impact sur la qualité de la nappe ?

GRAIE – GRAND LYON - Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009



Les questions scientifiques

- Quelles sont les propriétés bio-physico-chimiques des matériaux de surface des bassins ?
 - Décrire les propriétés physiques, chimiques et biologiques d'un matériau complexe?
 - Comprendre et modéliser la solubilisation des polluants
 - Quel est le rôle du compartiment microbien?
- Quels sont les impacts de ces pratiques sur la nappe ?
 - Comment évolue la température de la nappe ?
 - Quel sont les éléments qui atteignent la nappe? Quels sont les effets sur le fonctionnement biogéochimiques?

Schéma méthodologique pour la gestion des petits cours d'eau périurbains

Laurent SCHMITT, Université Lyon 2 / CNRS
Isabelle BRAUD, Pascal BREIL, Michel LAFONT,
CEMAGREF de Lyon

Schéma méthodologique pour la gestion des petits cours d'eau périurbains

Laurent Schmitt, Loïc Grosprêtre (Univ. de Lyon - UMR 5600 CNRS)

Pascal Breil, Michel Lafont, Isabelle Braud (CEMAGREF Lyon)

Avec la collaboration de Philippe Namour, Benoît Cournoyer, Céline Jézequel, Hugo Delile, Adrien Barra, Grégoire Privolt, Anne Vivier

Problèmes de gestion des RUTP (*petits hydrosystèmes périurbains*)



Photo : Thierry Fournier

- Pollution des milieux aquatiques
- Modification des écoulements (crues, étiages...)

Contexte général

- La concentration démographique dans les villes se poursuit et se poursuivra au cours des prochaines décennies (Europe, Monde)
 - Étalement des **couronnes périurbaines**
 - Imperméabilisation partielle des BV => **modification du cycle de l'eau**
- DCE impose d'atteindre (préserver) le **bon état écologique d'ici 2015** (*bon potentiel écologique* pour les masses d'eau fortement modifiées)
- Directive cadre inondations (2007) vise à concilier gestion des inondations - changement climatique - bon état écologique
L'OTHU travaille sur les inondations par ruissellement (péri)urbain
(évolution de la Fiche tech. OTHU n° 13)
- Besoins d'**outils de gestion** adaptés aux hydrosystèmes périurbains

État des connaissances il y a 10 ans

- Hydrologie : peu de suivis DO/rivière en continu et à long terme, peu d'intégration entre hydrologie urbaine et hydrologie rurale
- Ecologie : vision fragmentaire de la qualité des milieux récepteurs / pas de vision intégrée
- Géomorphologie : quasi-absence de connaissances des impacts (en France)
- Peu d'approches prospectives (changement global...)



Objectifs scientifiques et opérationnels

Préserver/restaurer les fonctions écologiques des « petites » rivières impactées par les RUTP

- **Intrants : limiter leurs impacts**
 - Quantifier les flux : volume, durée, fréquence (impacts sur les régimes), chimie...
 - Aboutir à des **préconisations techniques de gestion** des RUTP

- **Milieu récepteur : comprendre (modéliser) pour préserver/restaurer**
 - Flux : caractériser les gradients hydrauliques R/N, chimie, temps de contact, effets toxiques...
 - Formes : quelles dynamiques hydro-géomorphologiques ? Quels liens avec les fonctions écologiques (échanges N/R, processus bactériens...) ?
 - Biocénoses : proposer/tester des indicateurs de (dys)fonctionnement du milieu interstitiel, existe-t-il des effets pathogènes liés aux bactéries ?
 - Comprendre les dynamiques épuratoires (résilience/résistance), caractériser le « bon potentiel écologique » au sens DCE



Equipes concernées

- **Cemagref Lyon**
 - UR Hydrologie et hydraulique,
 - UR Qualité des eaux et pollutions diffuses
 - UR Biologie des écosystèmes aquatiques

- **Université de Lyon - CNRS**
 - UMR 5600 CNRS - Environnement Ville Société - Université Lyon 2
 - UMR 5180 CNRS - Laboratoire des Sciences Analytiques - Université Lyon 1
 - UMR 5557 CNRS - Ecologie Microbienne - Université Lyon 1

- **LGCIE - INSA de Lyon**
- **LSE - ENTPE**



Programmes de recherche élargissant les travaux de l'OTHU

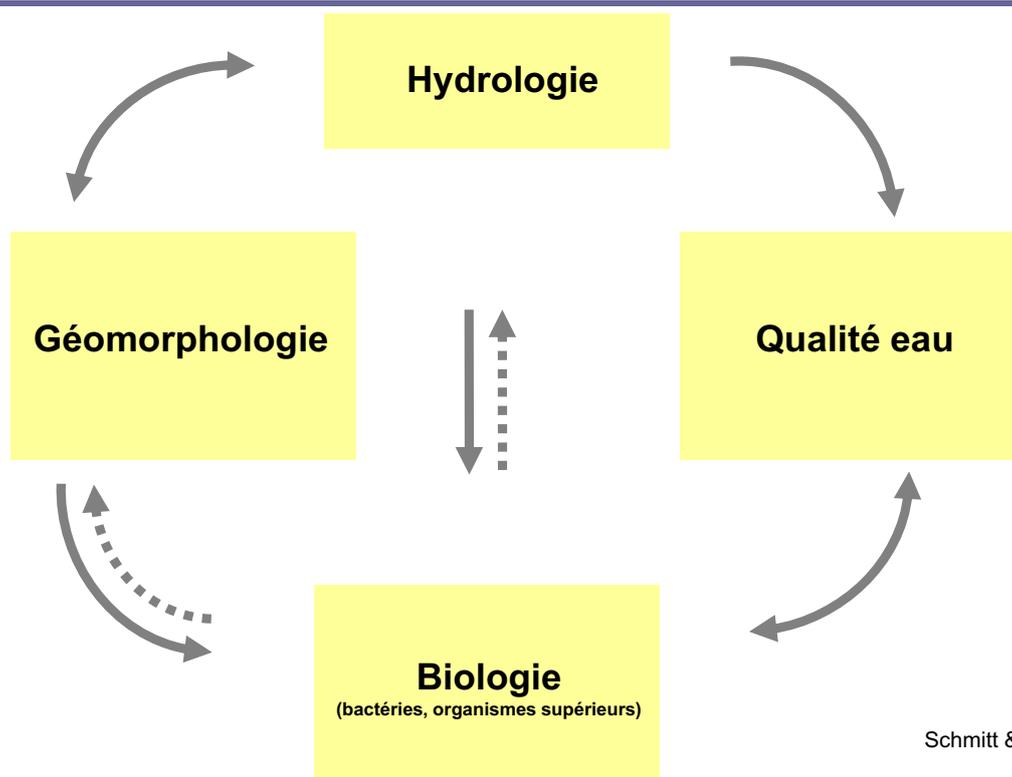
Programmes qui renforcent les travaux de l'OTHU et valorisent les bases de données OTHU

→ bonne complémentarité

- ANR (AVUPUR et INVASION)
- CNRS (prog. ECCO, Ingénierie écologique, ARTEMIS...)
- SAGYRC
- Communauté Urbaine de Lyon
- Région Rhône-Alpes
- ZABR – Agence de l'Eau RMC
- ...



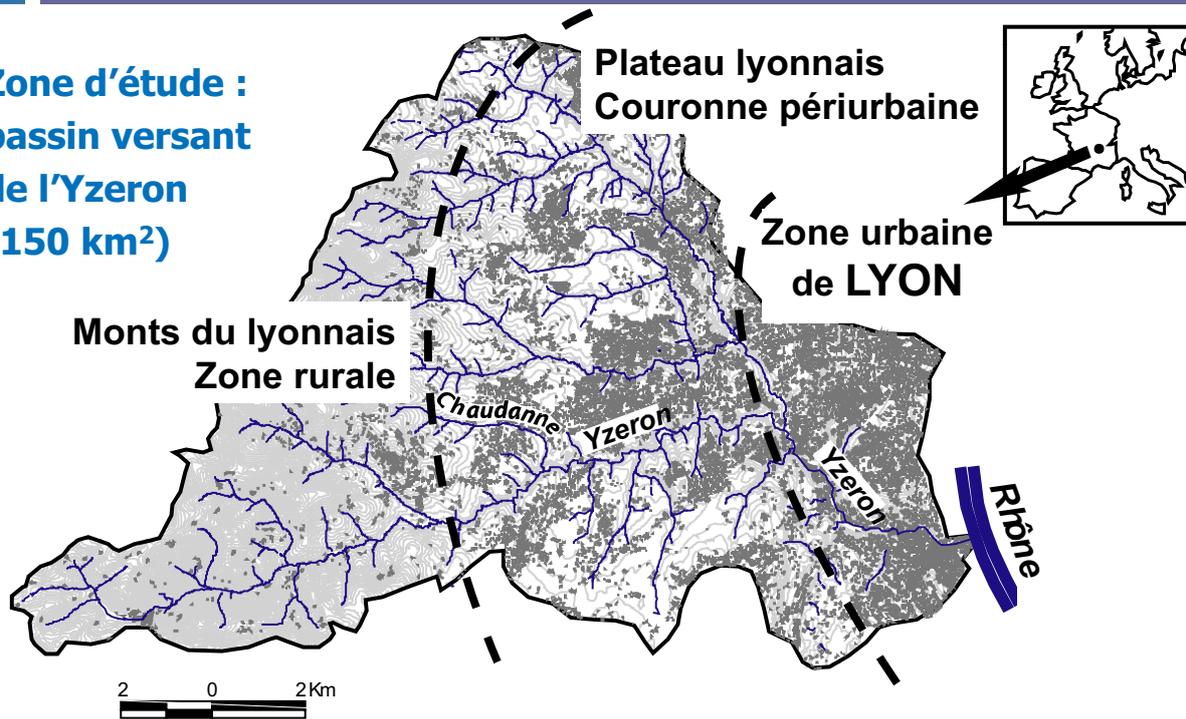
Modèle conceptuel





Méthodes et réseau d'observation sur l'Yzeron

Zone d'étude :
bassin versant
de l'Yzeron
(150 km²)



GRANDLYON **grale**

Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009



Méthodes et réseau d'observation sur l'Yzeron

- **Suivi en continu : rôle d'Observatoire**
 - Hydrologie
 - Physico-chimie
 - Biologie et microbiologie
 - Géomorphologie
 - **Investigations ponctuelles (compléments nécessaires dans certains cas...)**
 - Traçage des sédiments (galets, sables...)
 - Epaisseur des sols, capacité d'infiltration, suivi des hauteurs d'eau dans les réseaux éphémères pour étudier la réponse hydrologique...
 - Histoire hydro-sédimentaire du BV
- ➔ Complémentarité entre échelles locale et large (généralisation)

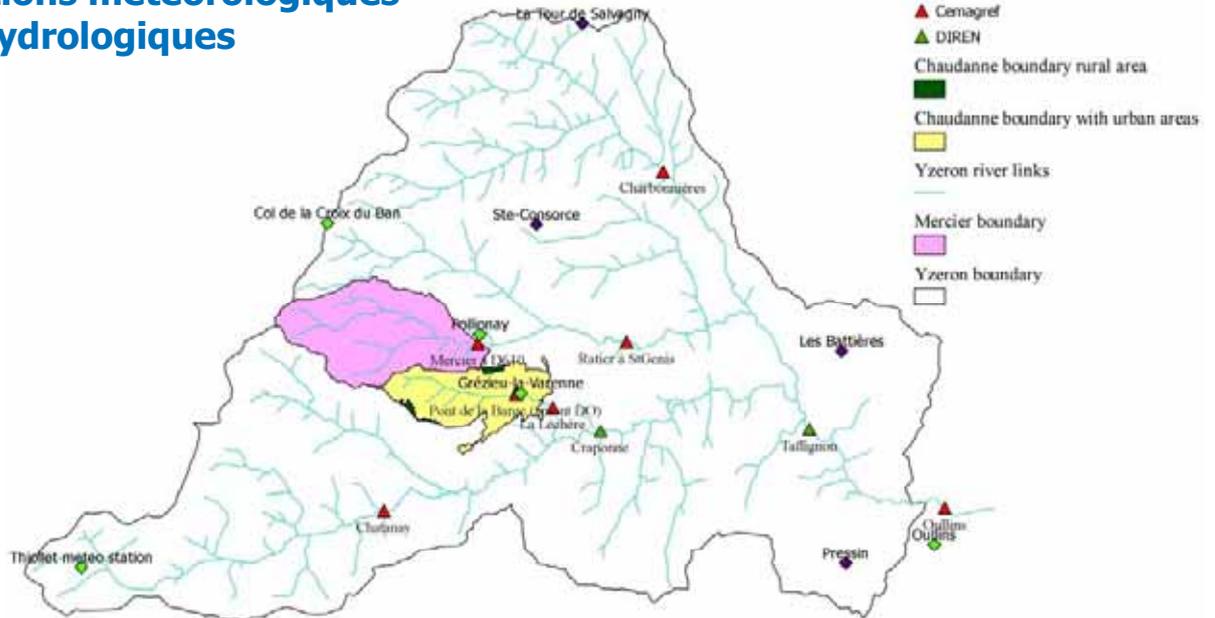
GRANDLYON **grale**

Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009



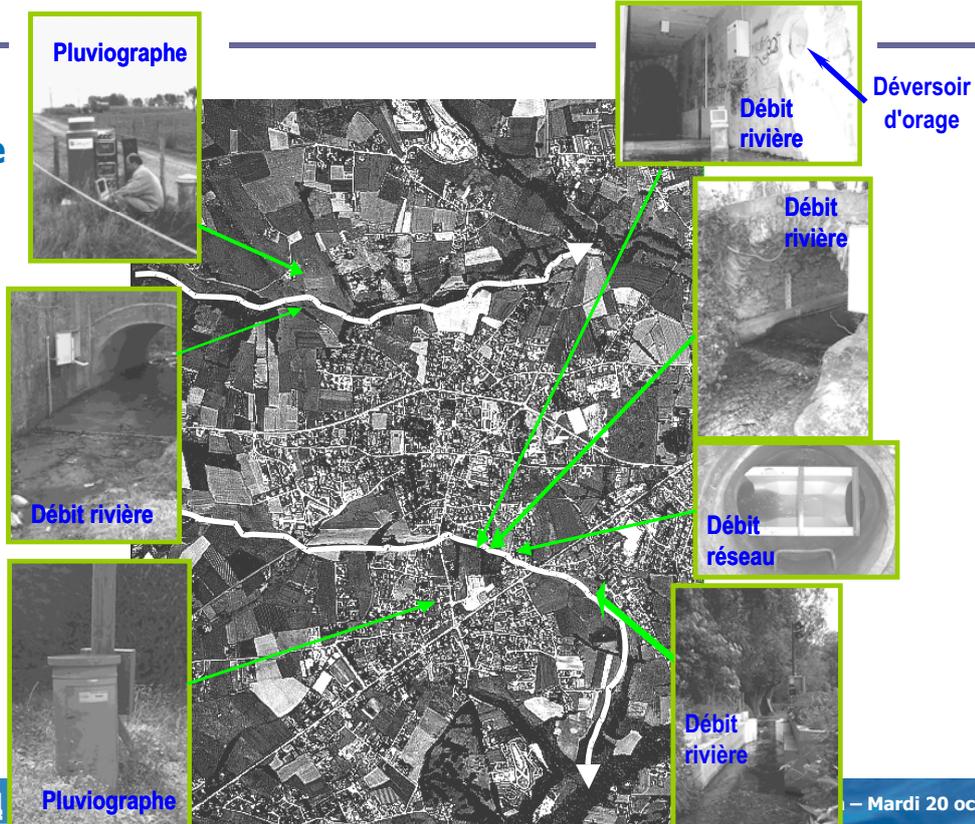
Méthodes et réseau d'observation sur l'Yzeron

Stations météorologiques et hydrologiques



Méthodes et réseau d'observation sur l'Yzeron

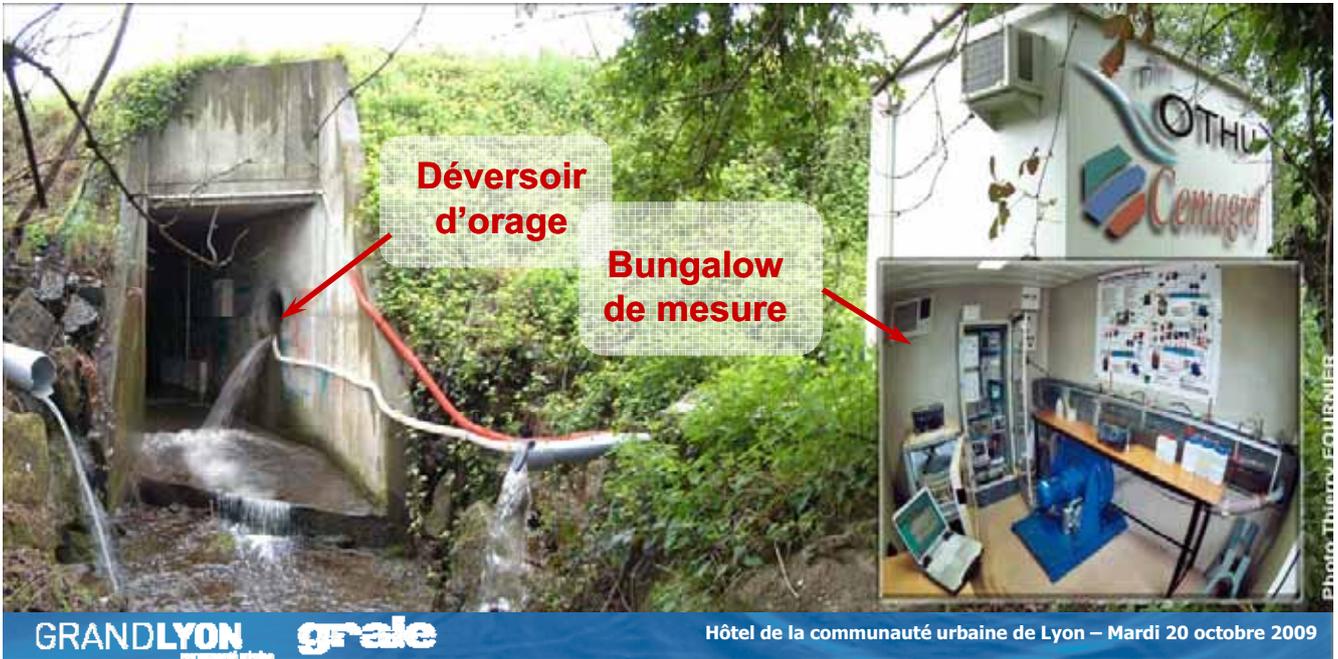
Suivi de la Chaudanne et du Mercier





Méthodes et réseau d'observation sur l'Yzeron

Suivi physico-chimique de la Chaudanne



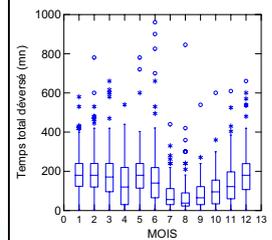
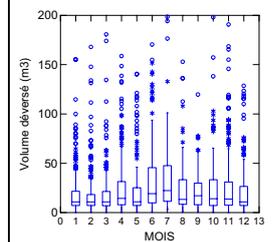
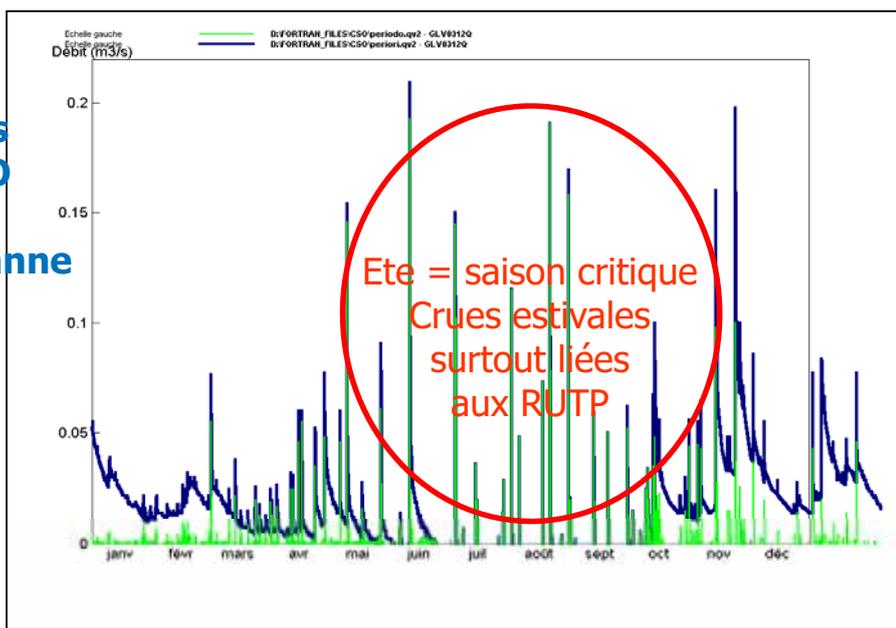
GRANDLYON **grale**

Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009



Résultats marquants : Hydrologie

Apports d'un DO dans la Chaudanne (2000)



10 ans d'observation

GRANDLYON **grale**

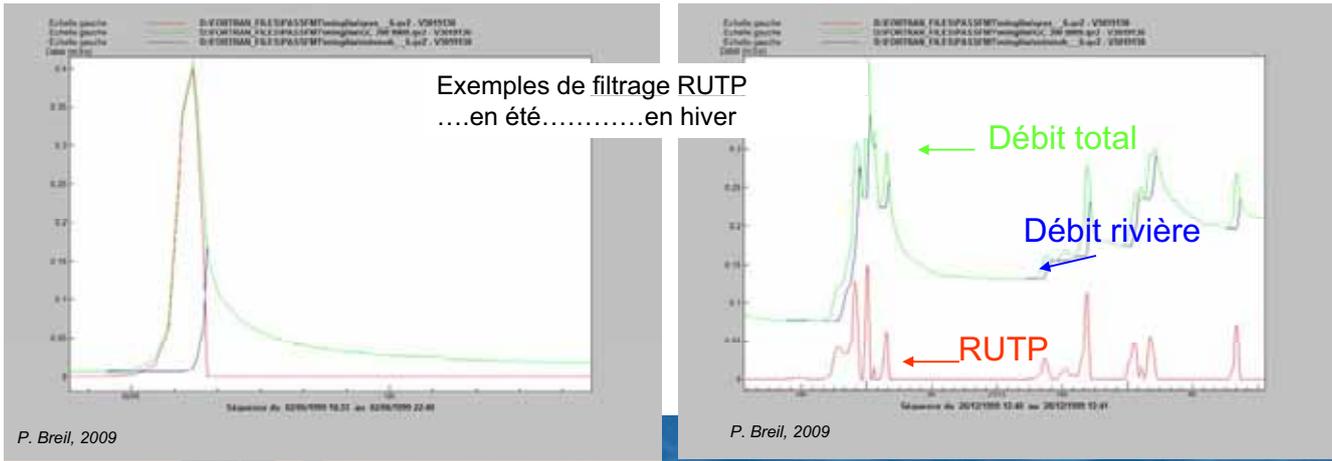
Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009



Résultats marquants : Hydrologie

Pour dimensionner un bassin d'orage il faut estimer les RUTP à laminer

- Si pas de chronique de débit, modélisation du bassin versant urbain
 - modèle pluie-débit
 - modèle débit-durée-fréquence petits bassins rapides (*Galéa, Ramez – 1995, Breil 1997, 2002, 2009; Fiche tech. OTHU n° 13*)
- Si chronique de débit à proximité, technique de filtrage sur chronique de débit en cours d'eau (*Fiche tech. OTHU en devenir*) – *Validat° via mesures directes sur bv de Grézieu.*
- Méthode des volumes maxima avec débit de fuite

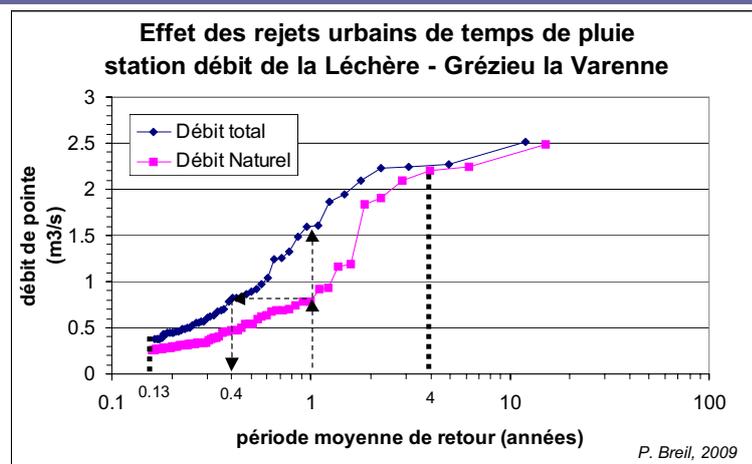


Résultats marquants : Hydrologie

Station de La Léchère
Bv = 4,1 km²
40% urbain, 60% rural



[Fiche tech. OTHU n° 13](#)



Réponse opérationnelle :

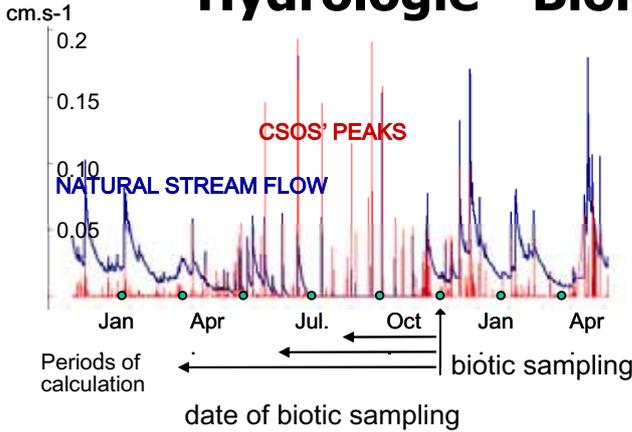
L'influence des déversoirs est ici sensible depuis la crue bi-mensuelle jusqu'à la crue 4 ans

Au delà le bassin rural répond aussi rapidement. Solution : Bassin d'orage pour réseau unitaire (expérimentation à venir ANR SECTUP-Grand Lyon).



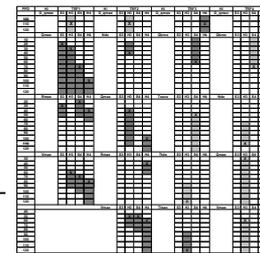
Résultats marquants : Hydrologie - Biologie

(Evolution Fiche tech. N°3)



Generated Hydrological Indices
8 CSOs
4 dry weather
1 natural flow

Rank correlation analysis



Time of response of the biota → HFTs

HFT1 = 57 days HFT2 = 65 days
HFT3 = 92 days HFT4 = 81 days

Mean recovery or "resilience" time

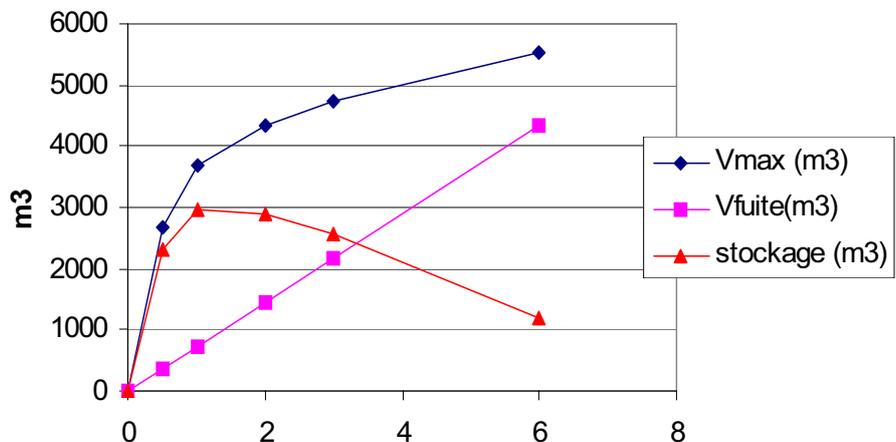
1% bed grad. Benthic = 25 d / Hyporheic = 73 d
0.5 % bed grad. Benthic = 56 d / Hyporheic = 88 d



Résultats marquants : Hydrologie

Volume de stockage pour la crue 4 ans

- Période de retour d'effet sur les débits naturels
- Volume de RUTP max sur les durées observées
- Débit de fuite « écologique »
- Volume à stocker



Le débit de fuite pris à 100-200 l/s comme seuil de mise en mouvement des sédiments grossiers (Barra, 2009).

Cela permet de concilier la réduction des impacts : aléa d'inondation, incision-ensablement, colmatage, qualité d'eau, biologie



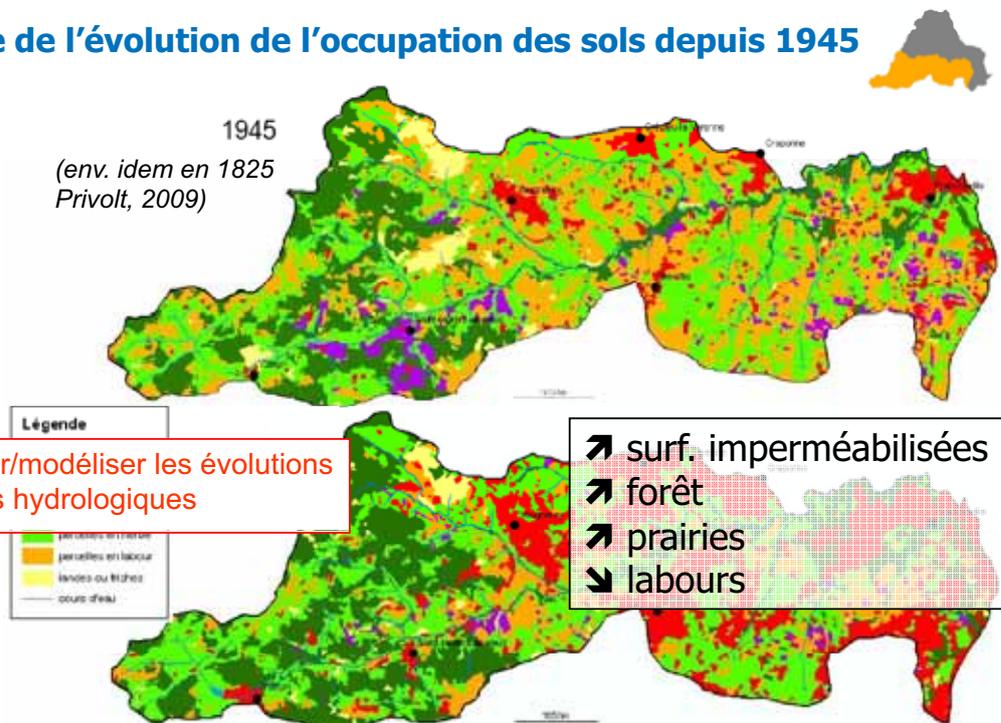
Résultats marquants : Hydrologie

Cartographie de l'évolution de l'occupation des sols depuis 1945

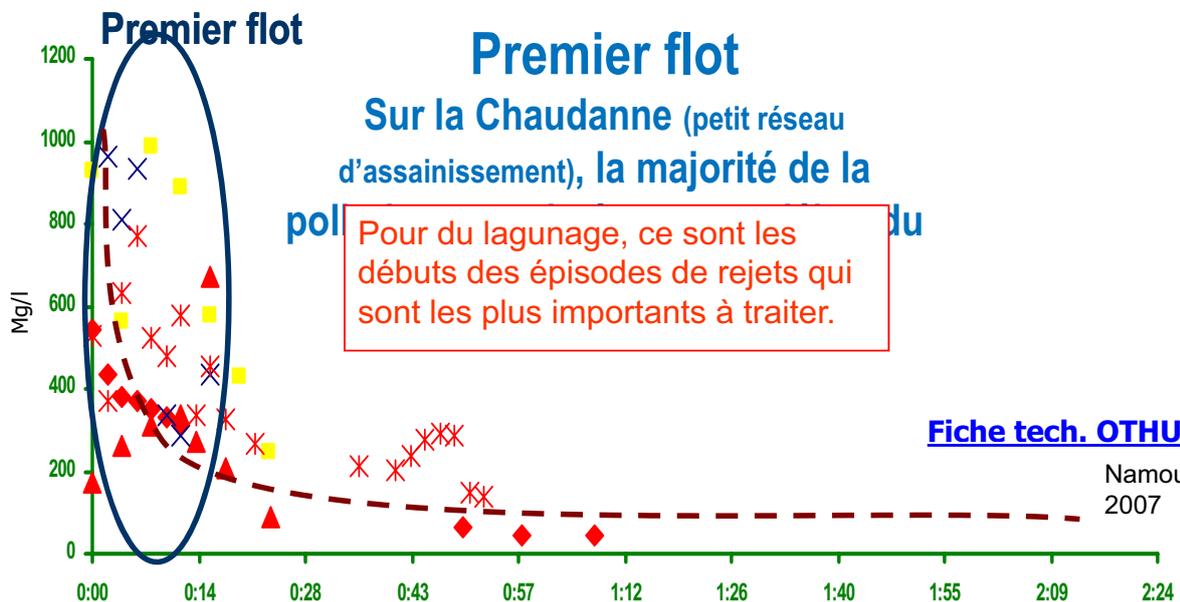
Associé à des modélisations hydrologiques, doit permettre de caractériser la sensibilité du régime hydrologique aux changements d'occupation du sol

→ Utile pour prévoir/modéliser les évolutions futures des régimes hydrologiques

Progr. ANR AVUPUR Jacqueminet, Kermadi, Michel (2009)

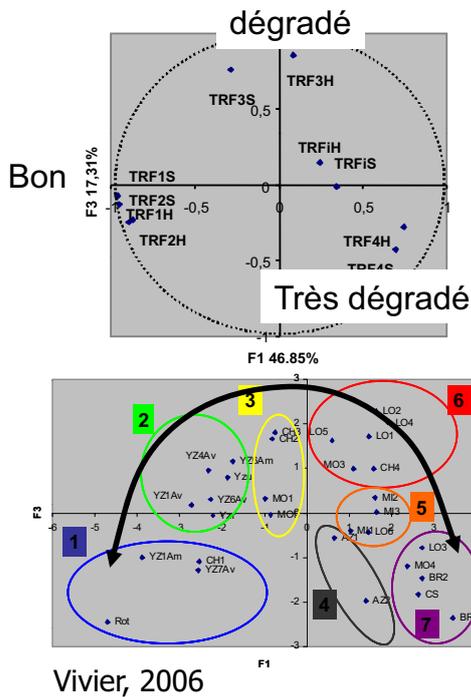


Résultats marquants : Physico-chimie





Résultats marquants : Biologie



Base de la bio-indication fonctionnelle =
Traits Fonctionnels (TRFs) (Lafont et Vivier 2007)
Dans sédiments de surface et hyporhéos.

- TRF1 = Perméabilité (% d'esp. car. d'éch. hyd.
- TRF2 = Intolérance à la pollution (...)
- TRF3 = Tolérance à la pollution (...)
- TRF4 = Effet boues (...)

« les indicateurs biotiques sont construits pour exprimer les ambiances physiques et chimiques qui induisent la bio-accessibilité et la bio-disponibilité dans les milieux benthiques et hyporhéique »

On passe de la logique « constat » type indices biotiques à celle du diagnostic fonctionnel portant sur les rôles respectifs limitant ou stimulant des facteurs physiques et chimiques de l'habitat.

Fiche tech. OTHU n°3

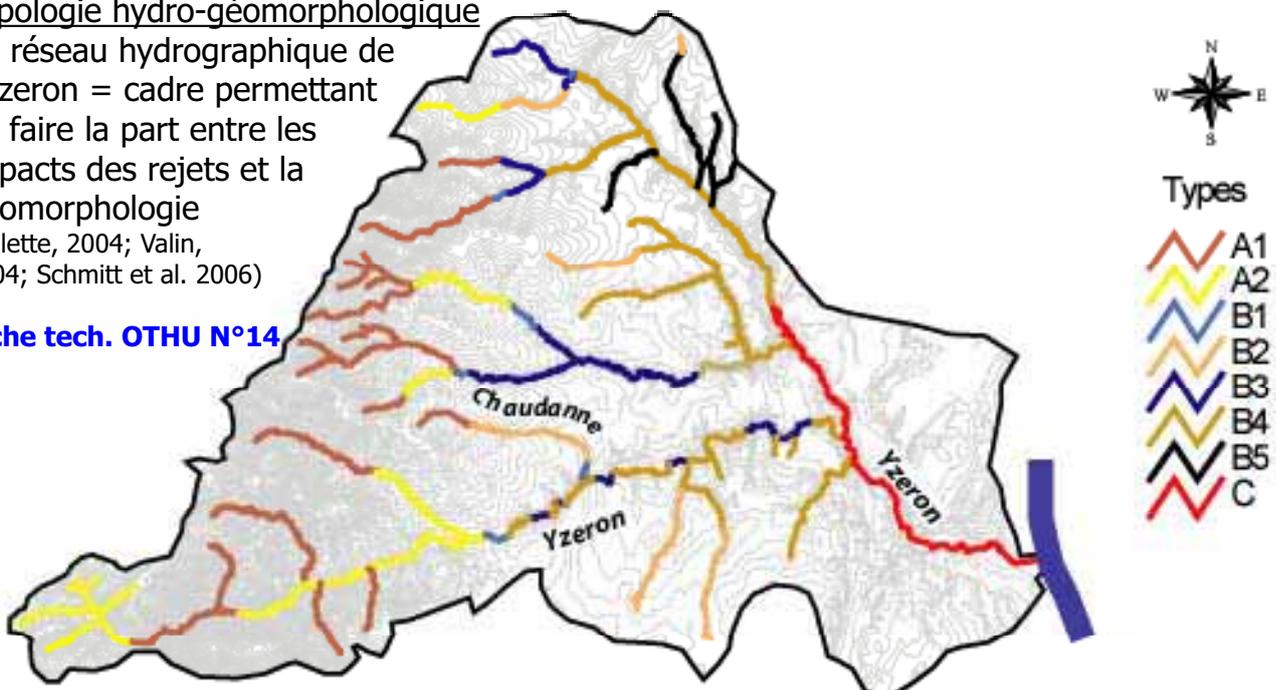
Validation (*) chimique et physique des métriques sur Chaudanne, Yzeron, Azergue, Loire, Moselle, Brunnvasser, Roseg, Rhône (Chasse, Miribel)



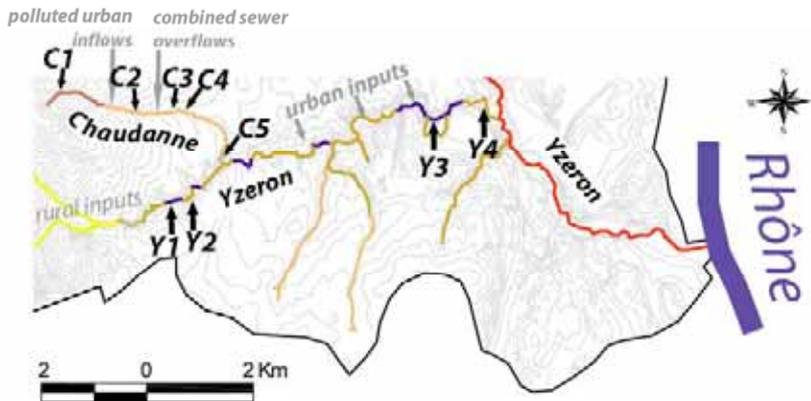
Résultats marquants : Biologie / cadre général

Typologie hydro-géomorphologique du réseau hydrographique de l'Yzeron = cadre permettant de faire la part entre les impacts des rejets et la géomorphologie (Valette, 2004; Valin, 2004; Schmitt et al. 2006)

Fiche tech. OTHU N°14



Résultats marquants : Liens géomorphologie - biologie



$$PE = \frac{[(TRF1 + TRF2) + 1]}{[(TRF3 + TRF4) + 1]}$$

Les rejets urbains altèrent la capacité d'assimilation (sauf hyporhéos type B3)

Le Type géomorpho B3 présente une meilleure capacité d'assimilation des rejets polluants (quels qu'ils soient) que le Type géomorpho B4

	Géomorpho-type B3	Géomorpho-type B4
Rural	Superfi : 6,3 Hyporhéos : 8,1	3,2 6,6
Urbain	5,0 84,0	1,9 3,2

Schmitt *et al.*, in press

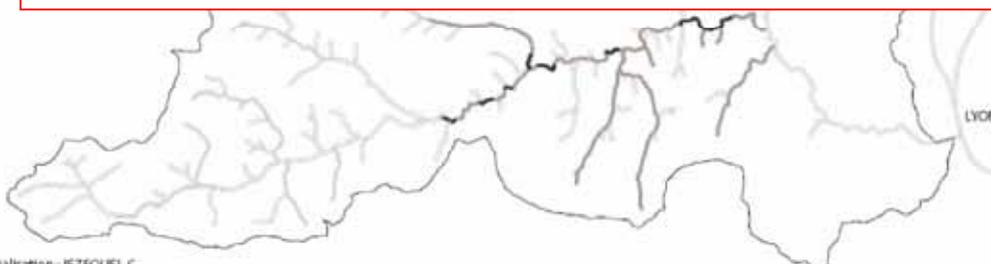
Résultats marquants : Liens géomorphologie - biologie

Carte de la capacité d'auto-épuration de la MO du réseau hydrographique de l'Yzeron (hypothèse à valider)

Capacité d'assimilation :

- non connu (types A2, B5 et C)
- moyenne (type A1)
- élevée (types B2 et B4)
- très élevée (types B1 et B3)

Si un RUTP doit être mis en place, il est préférable qu'il soit localisé sur des tronçons dont la géomorphologie renforce les processus de dégradation de la MO.

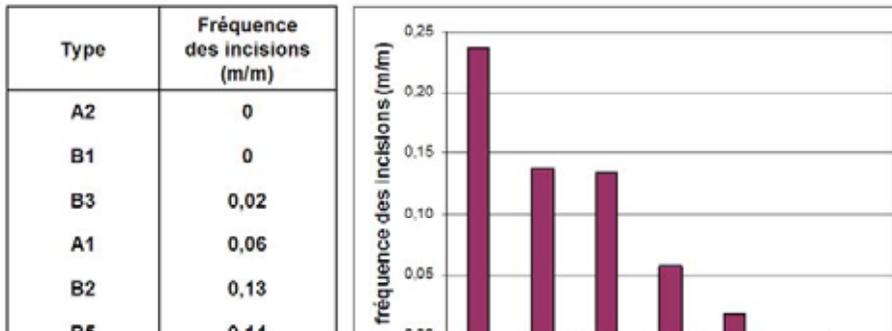




Résultats marquants : Géomorphologie

Incisions en têtes de bassins

Typologie => potentiel d'incision

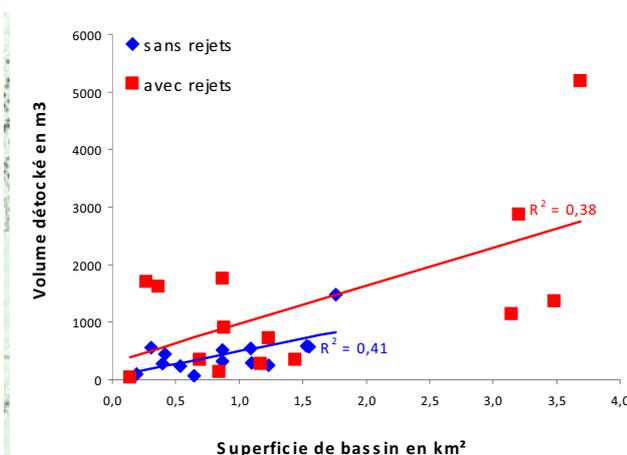


Il est recommandé de localiser les RUTP dans des ruisseaux des types géomorphologiques les moins sensibles à l'incision.

Volume déstocké : 23 400 m³



Résultats marquants : Géomorphologie



Les rejets multiplie la fréquence des incisions par 2,5

77% des volumes déstockés proviennent de la couronne périurbaine (rejets)

Il est important d'« écrêter » les RUTP avec des bassins de rétention dont le débit de fuite est limité.

Quelle valeur de débit de fuite ?

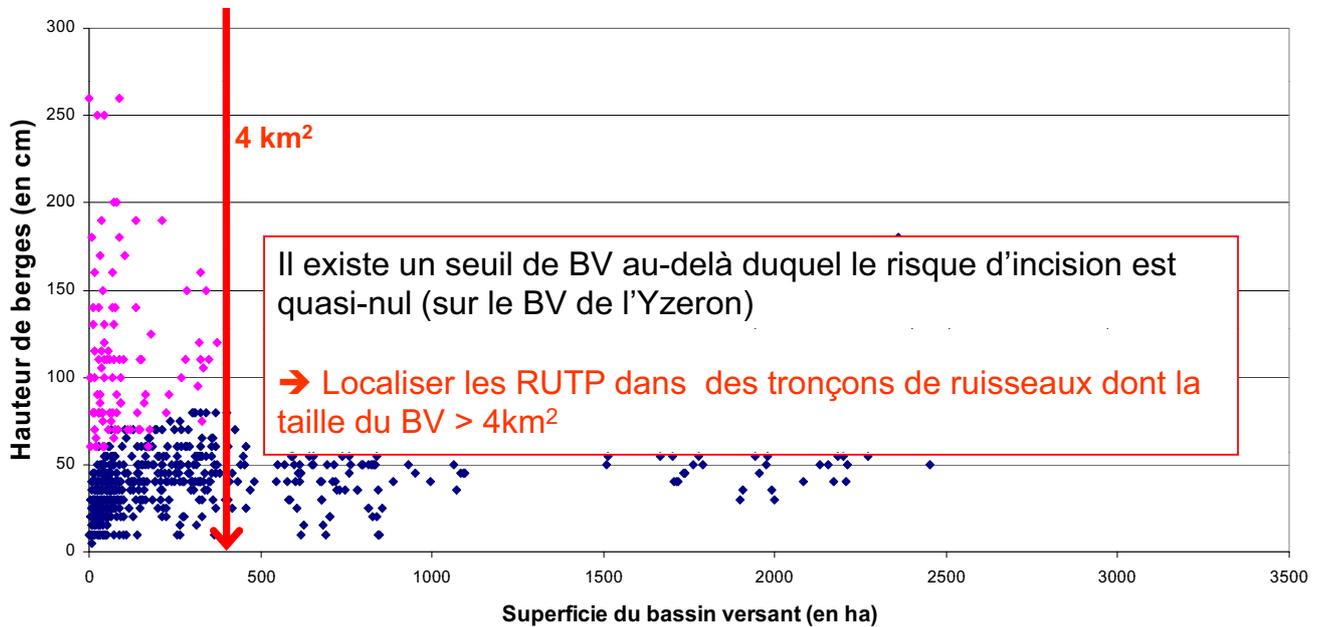
➔ 100-200 l/s sur la Chaudanne (Barra, 2009)

➔ estimation sur d'autres ruisseaux (thèse L. Grosprêtre en cours)



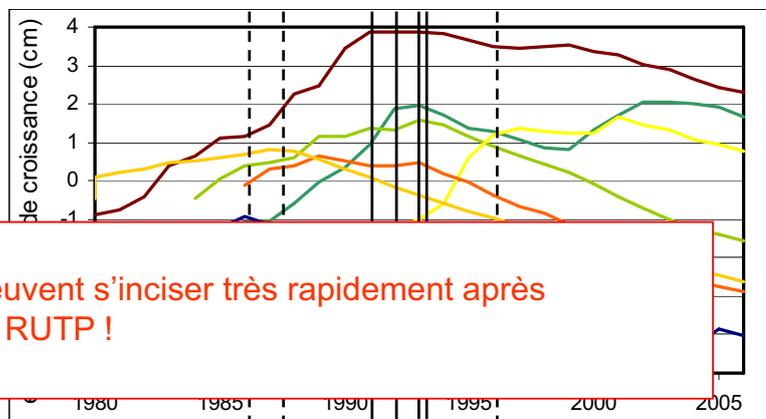
Résultats marquants : Géomorphologie

Effet de la taille du bassin versant vis-à-vis des incisions



Résultats marquants : Géomorphologie

Dendrochronologie

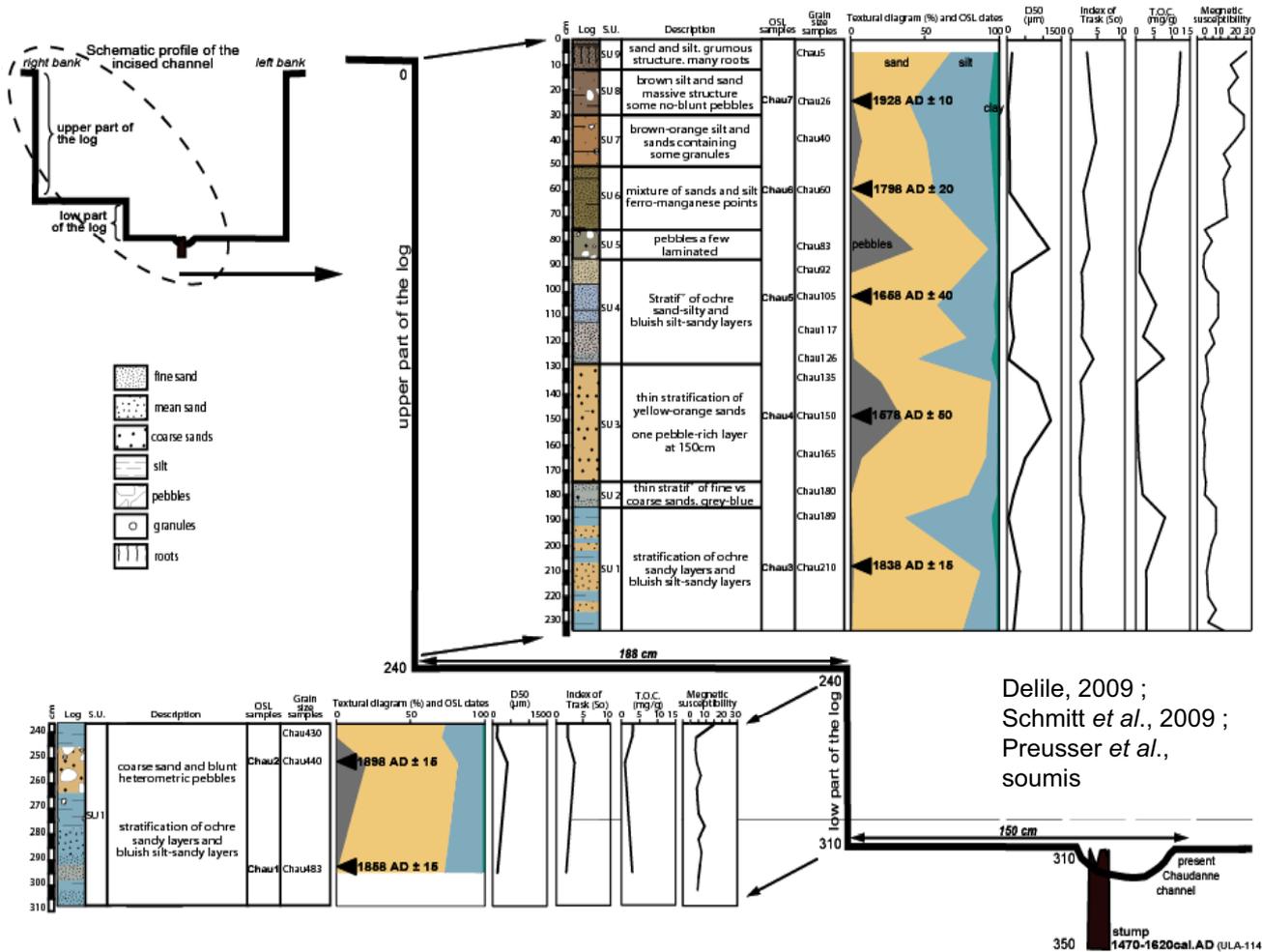


Les ruisseaux peuvent s'inciser très rapidement après l'installation d'un RUTP !

Exemple : ruisseau du Méginant

- incision rapide après l'implantation des RUTP
- les incisions dans le BV de l'Yzeron ont démarré entre ≈1970 - 1990

Quel type de formation superficielle est affecté par les incisions ?





Évolution de l'occupation du sol : Bouillon

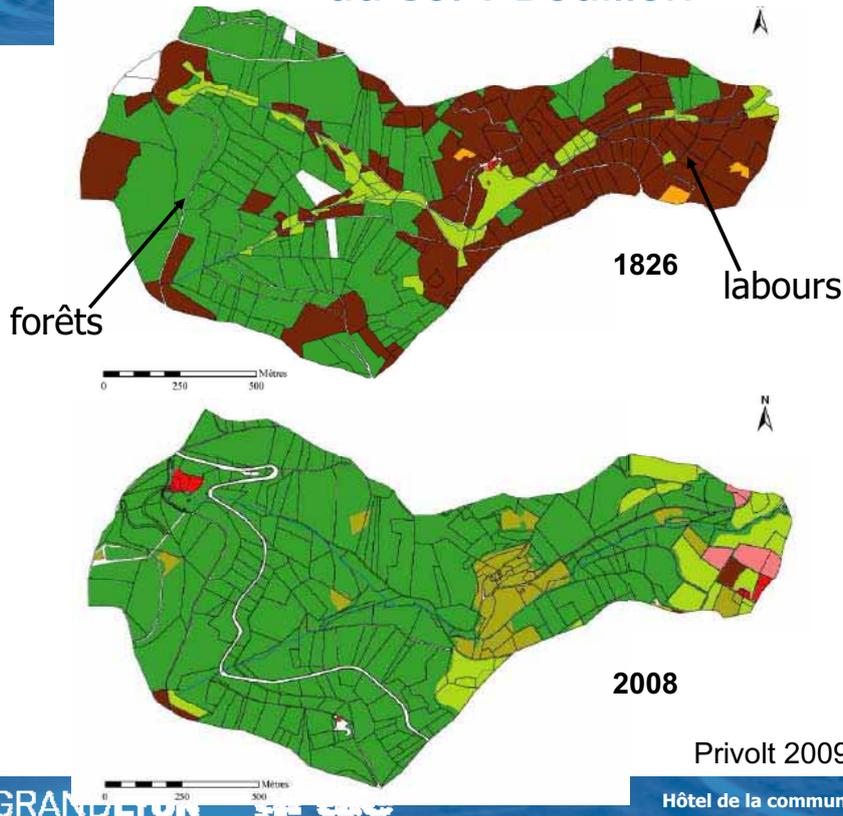
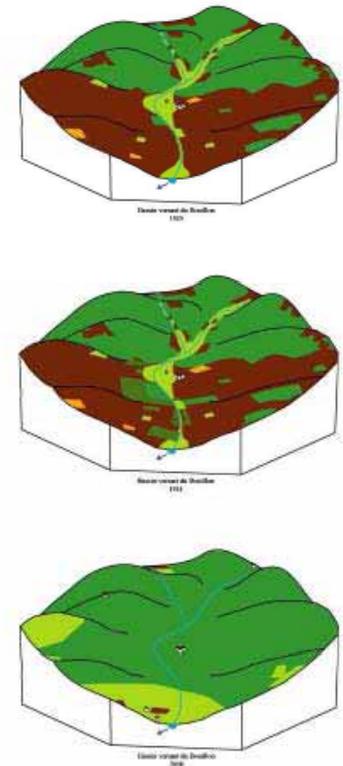


Schéma d'occupation diachronique du sol sur le bassin versant du Bouillon de 1826 à 2008



Évolution de l'occupation du sol : Chaudanne

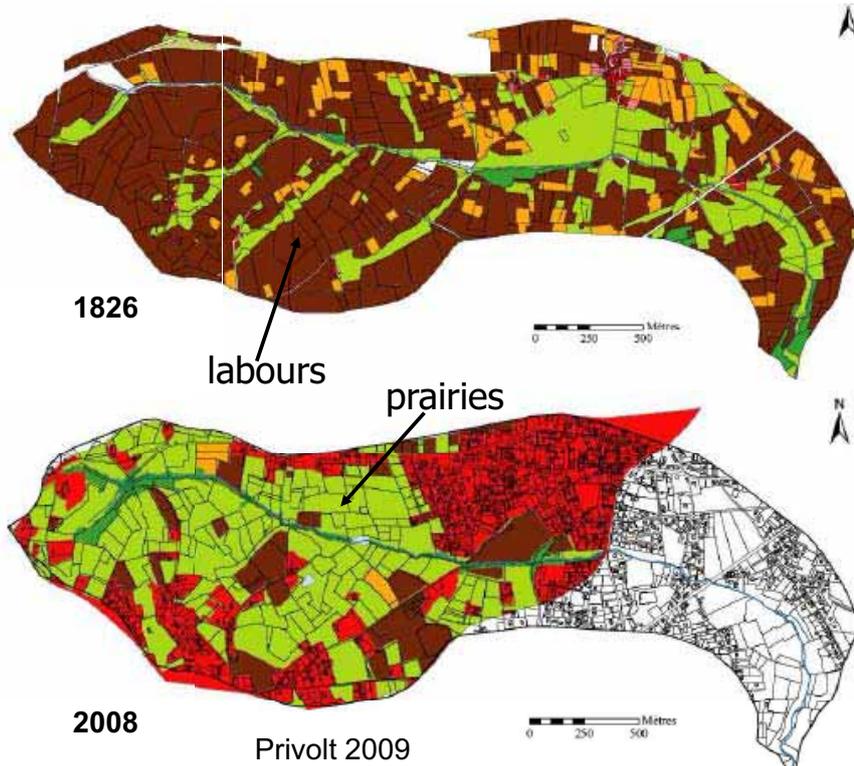
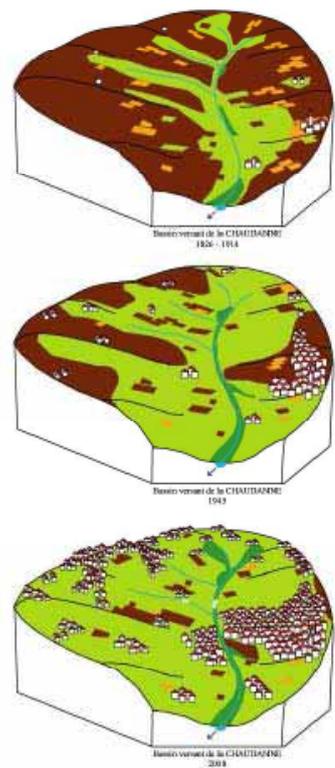
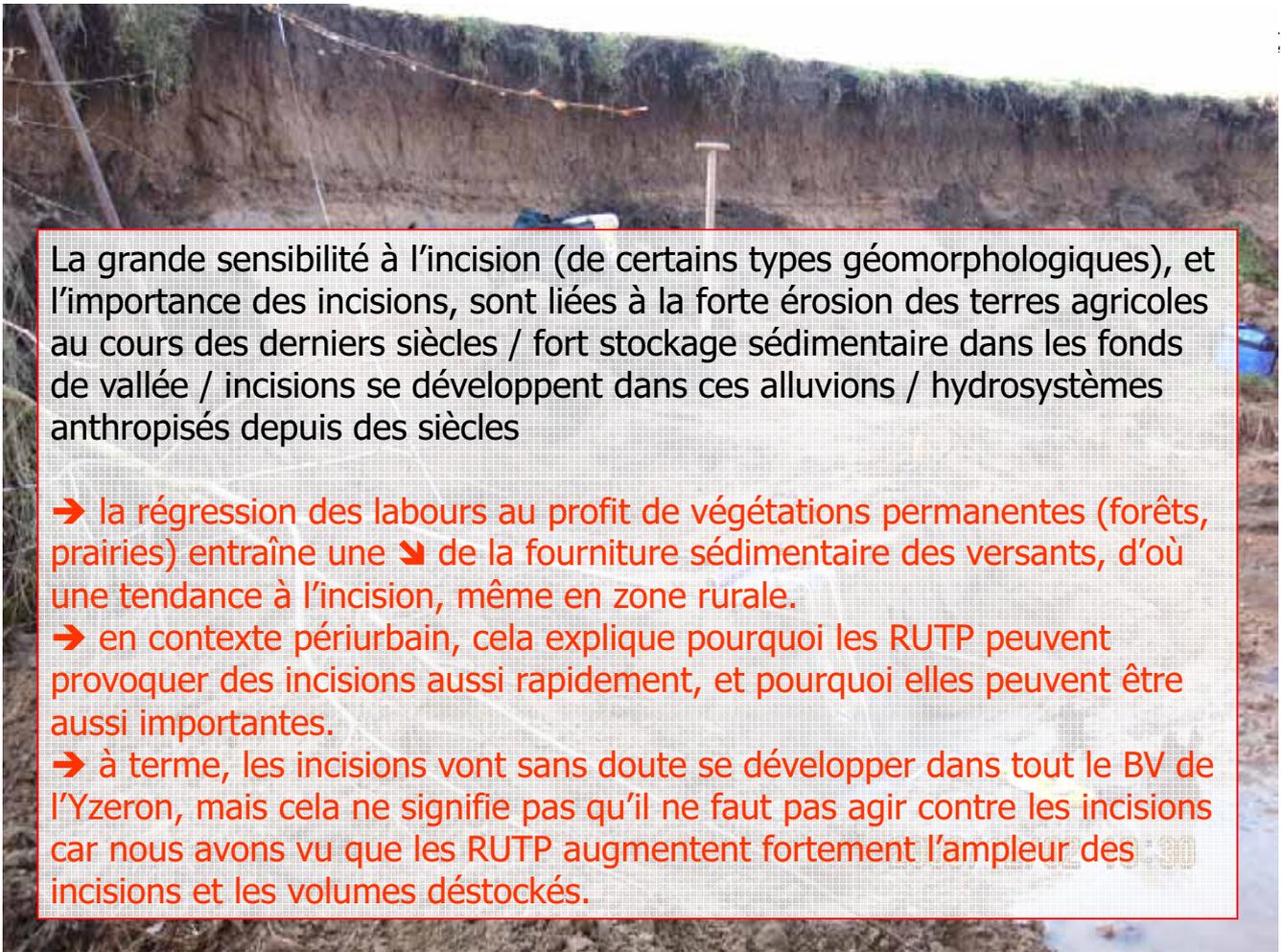


Schéma de l'occupation diachronique du sol sur le bassin versant de la Chaudanne entre 1826 et 2008





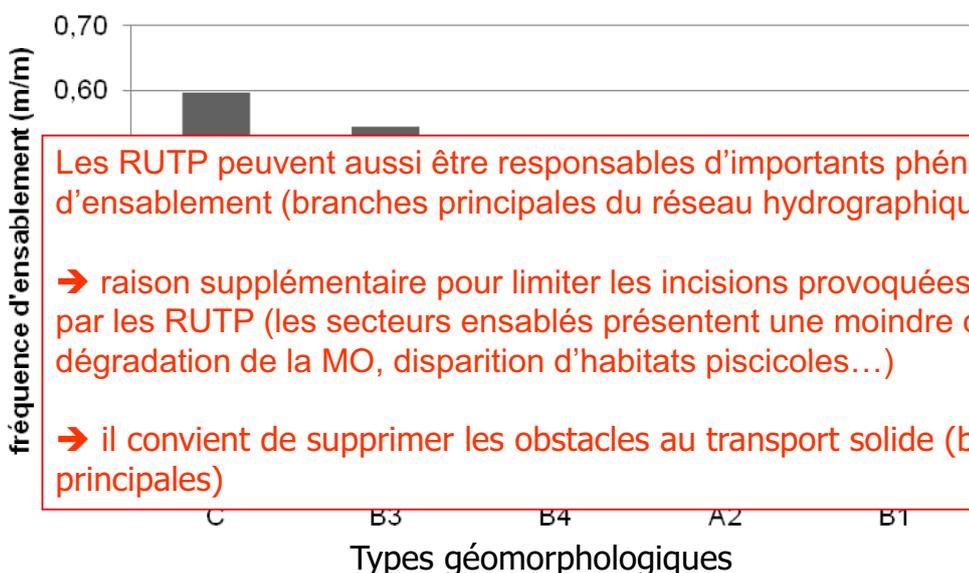
La grande sensibilité à l'incision (de certains types géomorphologiques), et l'importance des incisions, sont liées à la forte érosion des terres agricoles au cours des derniers siècles / fort stockage sédimentaire dans les fonds de vallée / incisions se développent dans ces alluvions / hydrosystèmes anthropisés depuis des siècles

- la régression des labours au profit de végétations permanentes (forêts, prairies) entraîne une ↘ de la fourniture sédimentaire des versants, d'où une tendance à l'incision, même en zone rurale.
- en contexte périurbain, cela explique pourquoi les RUTP peuvent provoquer des incisions aussi rapidement, et pourquoi elles peuvent être aussi importantes.
- à terme, les incisions vont sans doute se développer dans tout le BV de l'Yzeron, mais cela ne signifie pas qu'il ne faut pas agir contre les incisions car nous avons vu que les RUTP augmentent fortement l'ampleur des incisions et les volumes déstockés.



Résultats marquants : Géomorphologie

Inventaire des zones ensablées



Les RUTP peuvent aussi être responsables d'importants phénomènes d'ensablement (branches principales du réseau hydrographique)

→ raison supplémentaire pour limiter les incisions provoquées/accentuées par les RUTP (les secteurs ensablés présentent une moindre capacité de dégradation de la MO, disparition d'habitats piscicoles...)

→ il convient de supprimer les obstacles au transport solide (branches principales)

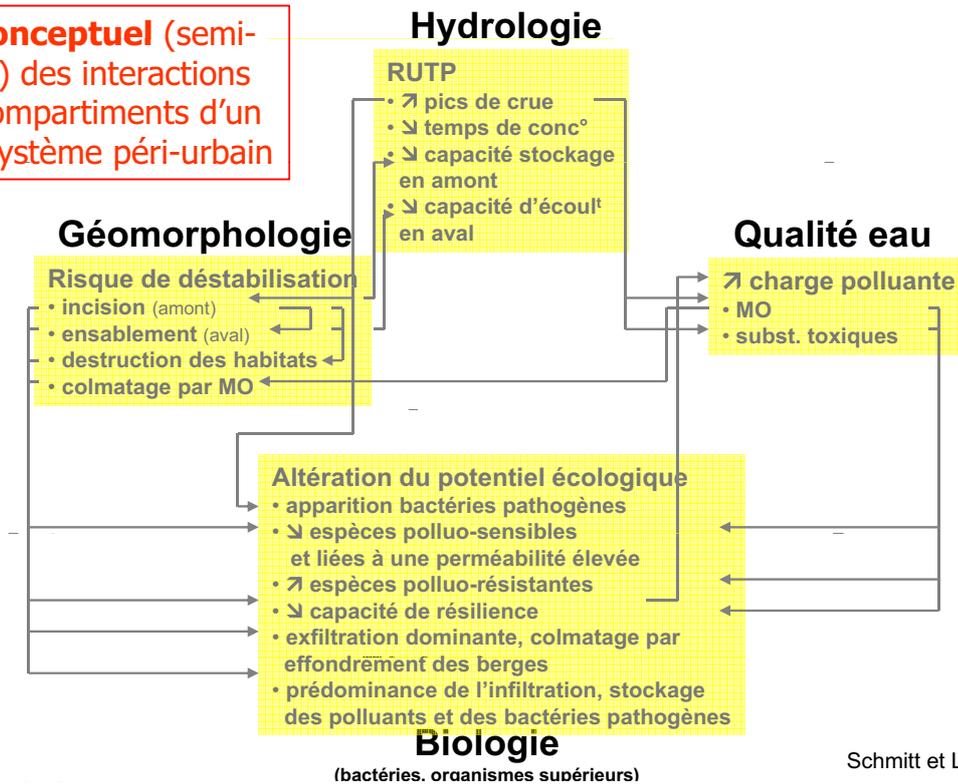
→ typologie : sensibilité à l'ensablement

→ 40-90% du transport sableux aval est lié au déstockage sédimentaire dû aux incisions (thèse L. Grosprêtre en cours)



Synthèse des avancées opérationnelles

Modèle conceptuel (semi-quantitatif) des interactions entre les compartiments d'un petit hydrosystème péri-urbain

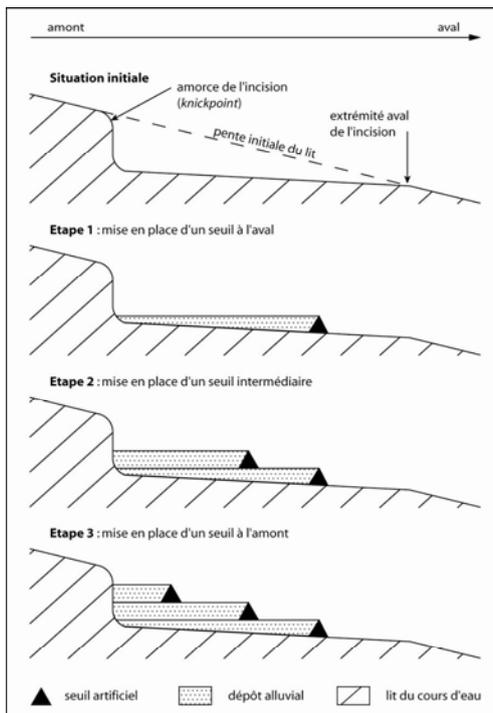


Synthèse des avancées opérationnelles

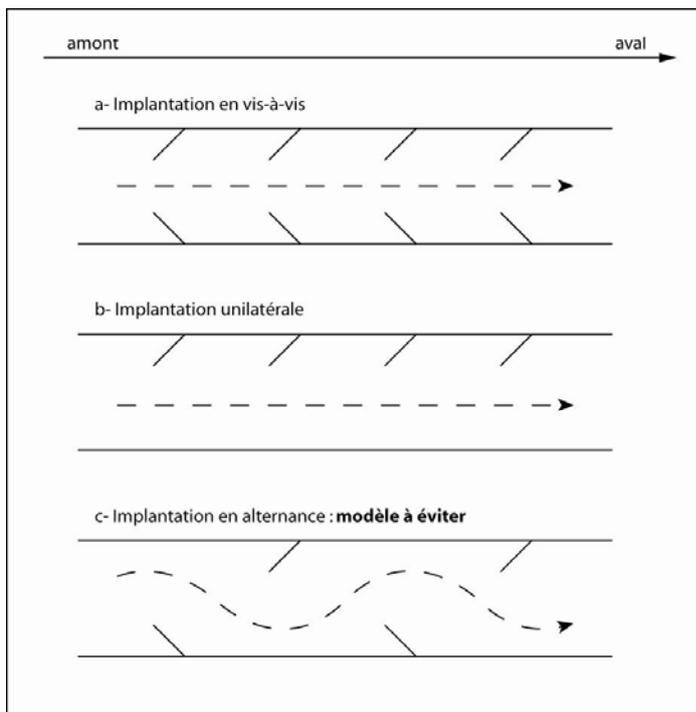
- Traiter les RUTP à la source (infiltration à la parcelle, revêtem^{ts} poreux... FT16)
- Traiter les RUTP à l'amont des rivières : bassins de rétention (débit de fuite à préciser selon les cas)
- Pour limiter les incisions, rejeter dans des tronçons dont le BV > 4 km²
- Après mise en place d'une incision, agir à la source (RUTP) et ne faire des travaux de stabilisation que dans le cas d'enjeux locaux (pont...)
- Pré-traiter les RUTP avant qu'ils atteignent les milieux récepteurs
- En cas d'impossibilité, maintenir un corridor vert et géomorphologiquement actif car garantit une bonne connexion N/R et favorise la capacité de résilience des écosystèmes
- Typologie géomorphologique comme outil de gestion intégrée
 - Rejeter dans les types ayant les capacités de dégradat° de la MO les + ↗ (à valider)
 - Rejeter dans les types présentant les risques d'incision les plus ↘
- Pour réduire l'ensablement (aval), lutter contre les incisions.
 - Supprimer les obstacles au transport solide.
 - Si besoin, mettre en place des épis → favoriser l'auto-curage
 - Si besoin, mettre en place des dessableurs



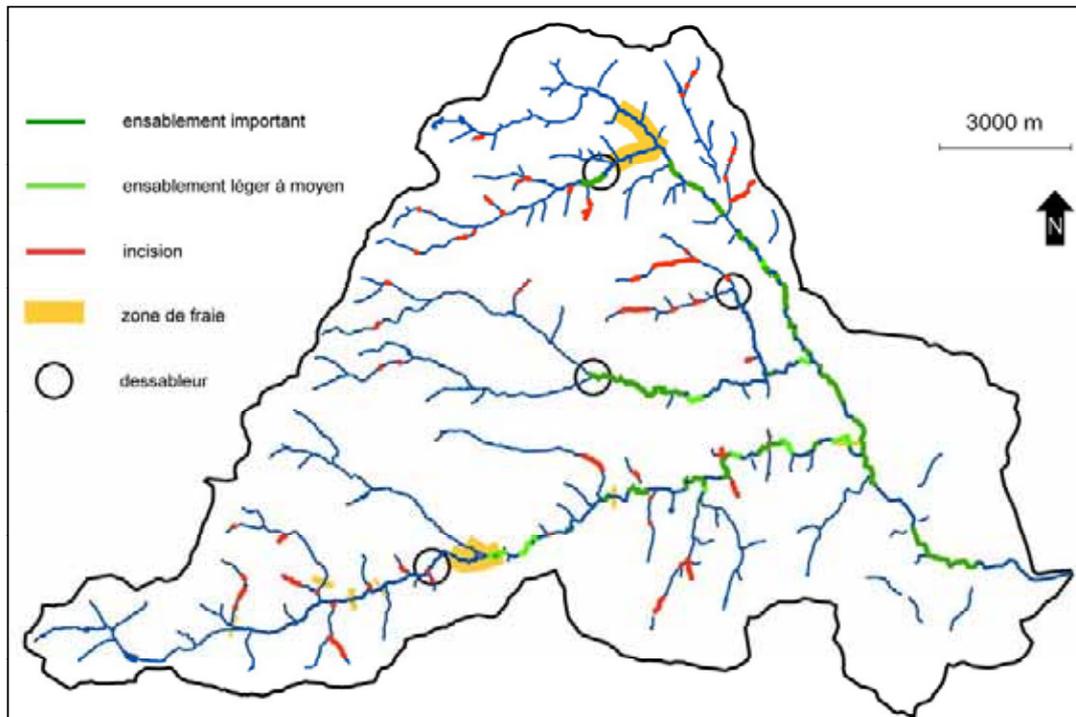
Exemple d'aménagement pour stabiliser le profil en long d'un tronçon incisé



Epis favorisant l'auto-curage, pour éviter l'excès de sable



Proposition de localisation de dessableurs (en amont des zones de fraie)



Avancées opérationnelles

- Quels **indicateurs de suivi** ?
 - ◉ Hydrologie : indices hydrologiques pour les biocénoses
 - ◉ Physico-chimie : micro-capteurs (P. Namour)
 - ◉ Géomorphologie : profils en travers (incisions), taux de remplissage des mouilles (ensablement), cartographie SIG
 - ◉ Biologie : TRFs, en complément d'indices plus classiques comme IBGN, IBD...
 - ◉ → une vision intégrée (inter-disciplinaire)

Perspectives

- Meilleure connaissance de l'hydrologie : Progr. AVUPUR vise à modéliser les écoulements en tout point du réseau hydrographique, et à modéliser les impacts de changement global sur les régimes hydrologiques.
 - i.e. en fonction de scénarios d'occupation du sol dans le futur et du changement climatique.
 - ➔ Effort métrologique et méthodologique encore à faire pour les basses eaux.
- Renforcer les études biologiques (TRFs, IBGN, IBD...), notamment pour spatialiser les capacités de dégradation de la MO...
- Les études micro-biologiques (ANR INVASION) ont démarré et sont prometteuses... (com^o B. Cournoyer)
 - Une intégration des études biologiques et microbiologiques seraient intéressante.
- Les suivis physico-chimiques doivent être améliorés par les micro-capteurs (com^o P. Namour).
- Liens avec les sciences sociales / urbanisme, pour mieux intégrer la gestion des eaux pluviales dès le processus de production de la ville.
- Les méthodes et types d'approches mis en œuvre ont vocation à être transposés à d'autres bassins. Des travaux avec d'autres collectivités seraient intéressants.



Merci !

Rejets urbains : risques sanitaires
et écologiques
Apports de la microbiologie et de
l'écotoxicologie : approches
prospectives

Benoit COURNOYER, UCBL Lyon 1 / EVL /
CNRS Yves PERRODIN, ENTPE

Rejets urbains : risques sanitaires et écologiques

Apports de la microbiologie et de l'écotoxicologie : approches prospectives

Benoit COURNOYER, UCBL Lyon 1/EVL/CNRS
Yves PERRODIN, ENTPE / L.S.E.

Partie I :

Risques sanitaires liés aux agents infectieux des RUTP

Benoit Cournoyer, CNRS



Contexte des rivières impactées par des "rejets urbains"

- Quels agents pathogènes dans les rejets?
- À quelles concentrations? Dose infectante atteinte?
- Persistance des agents pathogènes dans le milieu?
- Effet sur l'état écologique?
- Rôle dans l'évolution des clones épidémiques?



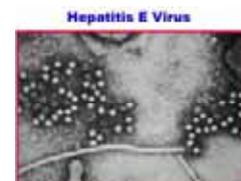
Principaux dangers – infections d'origine hydrique

- quels agents infectieux?
- virus (environ 7%)
- Une dizaine d'espèces

Pathologies:



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



Hépatite A et E
- Inflammation
du foie

Principaux dangers – infections d'origine hydrique

– quels agents infectieux?

➤ protozoaires (environ 40%)

- Une dizaine d'espèces

Pathologies:



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



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



toxoplasmose
- *Toxoplasma gondii*
(développement fœtal
perturbé)

Principaux dangers – infections d'origine hydrique

– quels agents infectieux?

➤ bactéries (environ 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.

Principaux dangers – infections d'origine hydrique

– quels agents infectieux?

➤ bactéries (environ 40%)

- Pathologies plus rares:



Légionellose

- *Legionella pneumophila*

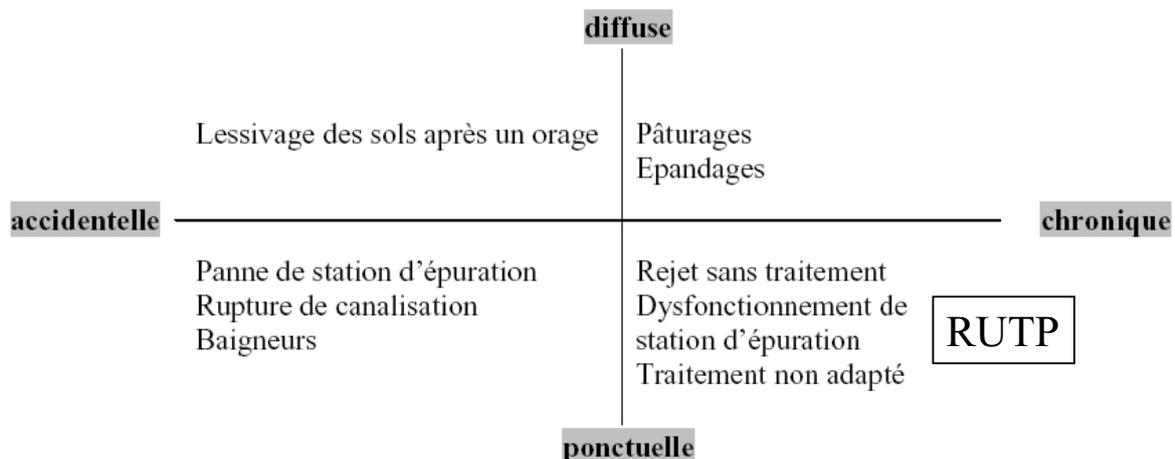


Leptospirose

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

Principaux dangers – infections d'origine hydrique

– les sources:



RAMBAUD – Mémoire de l'Ecole Nationale de la Santé Publique – 2004

Principaux dangers – infections d'origine hydrique

– les principales sources sur l'OTHU

➤ ponctuelles et chroniques:

- contaminations fécales, urines, vomissements
- expectorations, mucus

e. g. 1: déversoir d'orage, effluents de

STEP, effluents de lagunes, effluents de bassin de rétention, baigneurs, animaux

e. g. 2: eaux de ruissellement de voiries, site agricole



➤ diffuses et chroniques

- rejets agricoles, biocénose – plantes, invertébrés, etc...

4

Principaux dangers – infections d'origine hydrique

– quelques chiffres importants:

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

Organismes	quantité dans les selles	période de rejet	dose infectante	
<i>Shigella</i>	10 ⁶ per gram	30 days	<5 × 10 ² /ID ₅₀	Makintubee et al., 1987; DuPont, 1988
<i>Escherichia coli</i> O157	10 ⁸ per gram	7–13 days	Not known ^a	Pai et al., 1984
<i>Cryptosporidium</i>	10 ⁶ –10 ⁷ per gram	1–2 weeks	132/ID ₅₀	Casemore, 1990; DuPont et al., 1995
<i>Giardia</i>	3 × 10 ⁶ per gram	6 months	25/ID ₂₅	Rendtorff, 1954; Feachem et al., 1983

virus = 10¹⁰ particules par gramme

4



Principaux dangers – infections d'origine hydrique

– types d'exposition

- contact / blessures
- ingestion
- inhalation / particules en suspension

– populations à risque

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

4



Bilan Rhône-Alpes:

- Prévalence de *Leptospira interrogans* chez les rongeurs
- Prévalence de *Toxoplasma gondii* chez les chats et dans les sols
- Prévalence de *Legionella pneumophila* dans les TAR, sources thermales
- Prévalence de *Naegleria fowleri* – cours d'eau soumis aux rejets de centrale nucléaire
- Prévalence d'*E. coli* dans les sols agricoles

❖ peu ou pas de données sur les bassins-versants en milieu urbain/péri-urbain

- quelques bilans pour les sites de baignades: *E. coli* et entérocoques intestinaux (bio-indicateurs)
- Peu ou pas de données sur les agents pathogènes?



Eaux de baignade

MIRIBEL-PLAGE DES EAUX BLEUES
Département : RHONE / Commune : VAULX-EN-VELIN

<http://baignades.sante.gouv.fr/editorial/fr/accueil.html>



100 ml Détails du prélèvement du 13/08/2009

Paramètre	Résultat	Valeur limite impérative*	Valeur limite guide**
Coliformes totaux /100ml	46	10000	500
Streptocoques fécaux /100ml	30	-	100
Escherichia coli / 100ml	30	2000	100

+4% GE

Deux études utilisées pour estimer les risques de gastro-entérite (GE):

- Kay et al. 1994. milieux marins (Royaume-Uni)
- Wiedenman et al., 2006. eaux douces (Allemagne)

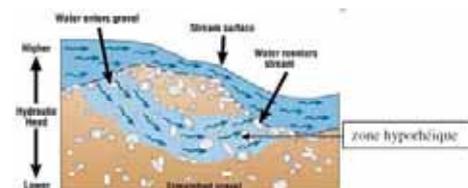
>100 *E. coli* ou > 25 entérocoques intestinaux / 100 ml
= augmentation de l'incidence des GE

Mais, pas de données sur les agents étiologiques et autres pathologies



Objectifs opérationnels du projet

- Estimer les dangers d'infection selon le type de rejet et les quantités déversées
- Identifier les compartiments contaminés ou colonisés
- Définir des règles permettant de limiter les expositions
- Proposer des indicateurs





Objectifs scientifiques du projet

- Étudier l'écologie des agents infectieux
 - dynamiques spatio-temporelles
 - . paramètres physico-chimique, variations saisonnières
 - . flux hydriques
 - . géo-morphologie
 - interactions avec les autres espèces (effet sur l'état écologique)
- Étudier l'adaptation aux contraintes environnementales
 - acclimatation et multiplication: notion de population adaptée et clones dominants
 - sélection de variants génétiques / nouveaux dangers

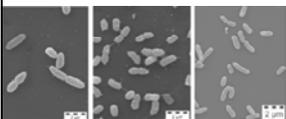


Projet ANR INVASION

- inter-équipes OTHU (2009-2013)
 (LEM, HH CEMAGREF, LSA U. Lyon 1, LSE-ENTPE, EVS U. Lyon 2, BMGeo)

Modèles d'étude

- Rivière Chaudanne (Grézieu-la-Varenne)
- Bactéries pathogènes



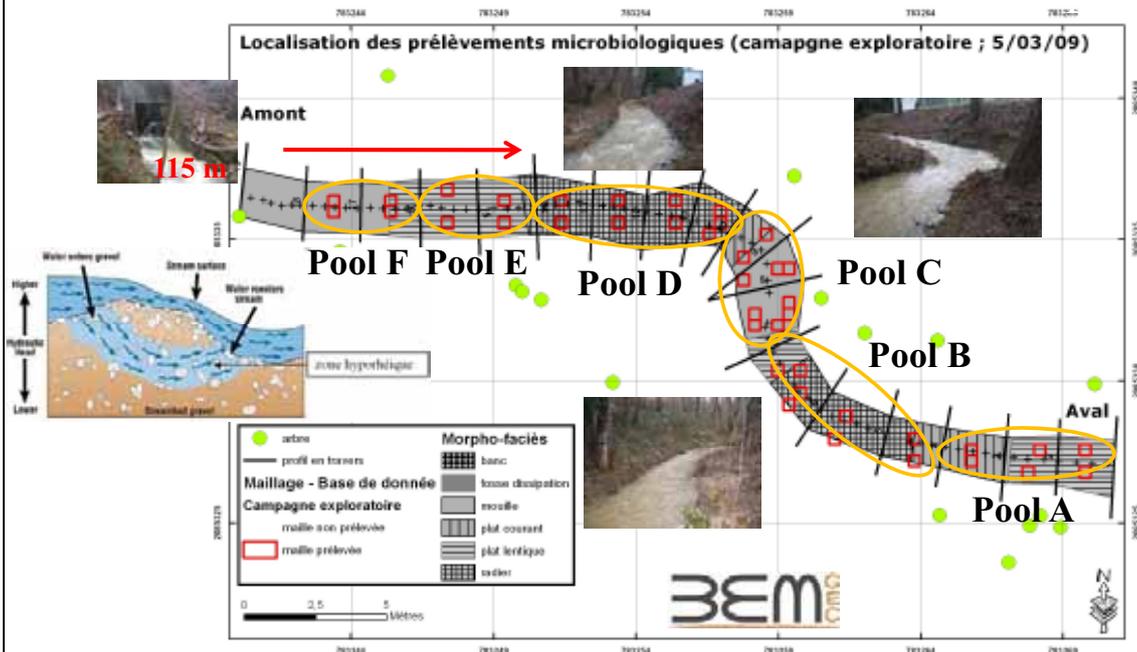
Pseudomonas aeruginosa, *EC* et *EI*
Burkholderia du complexe *cepacia*
Aeromonas hydrophila, *A. caviae*
Shigella spp., *Salmonella*,
Listeria spp., *Campylobacter jejuni*



crue Fev-2009

Analyses exploratoires du site aval

- 6 groupes d'échantillons pour chaque matrice (benthique, 0-10 cm, et hyporhéique, -30 cm)



GRAIE – GRAND LYON - Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009

Analyses exploratoires

- 47 échantillons – site DO: eaux usées (15), eaux DO (2), écouillons DO (30)
- 151 échantillons – site aval :
 - 41 sédiments benthiques
 - 41 eaux benthiques
 - 3 eaux de surface
 - 33 sédiments hyporhéiques
 - 33 eaux hyporhéiques



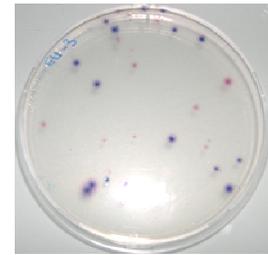
- ✓ Méthodes d'isolement et dénombrement = milieux gélosés
- ✓ Méthodes d'identification = tests phénotypiques ou ADN
- ✓ Méthodes de typage = PFGE et MLST (ADN)

GRAIE – GRAND LYON - Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009

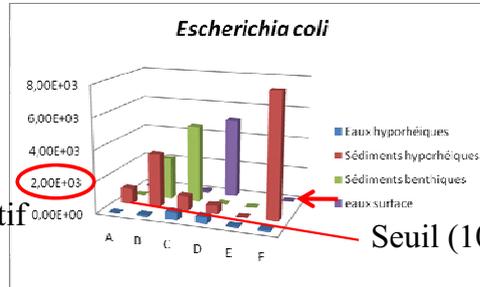


Escherichia coli

- ❖ DO – rejets
> 10³ UFC / 100 ml
- ❖ Aval DO



Milieu Rose-Gal BCIG



seuil impératif

Seuil (100 UFC/100ml)

UFC/100mL d'eau ou UFC/g de sédiment



Conclusions:

- valeurs seuils dépassées pour les eaux (hors période de rejets)
- populations élevées dans les sédiments / **persistance probable**

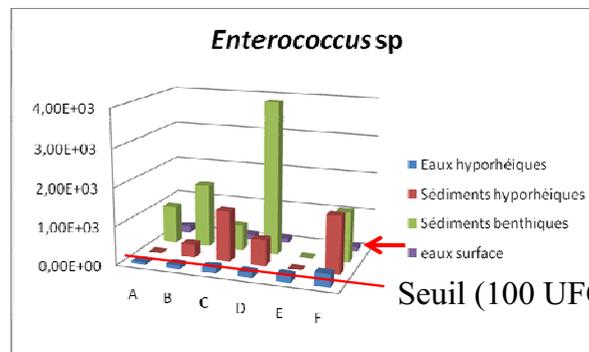


Entérocoques intestinaux

- ❖ DO
À faire
- ❖ Aval DO



Milieu Slanetz + TTC, puis enterosel



Seuil (100 UFC/100ml)

UFC/100mL d'eau ou UFC/g de sédiment



Conclusions:

- populations élevées dans les sédiments / **persistance probable**
- 10 à 10² CFU/100mL d'eau de surface (bonne qualité?)

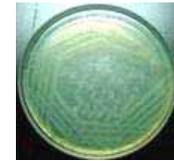


Pseudomonas aeruginosa

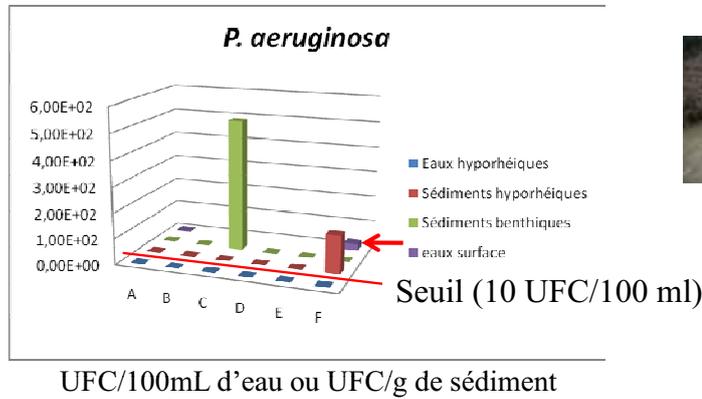
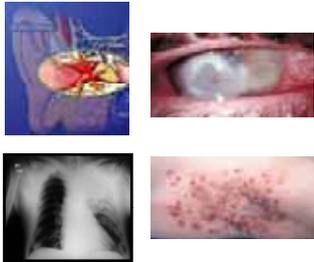
❖ DO et eaux usées

-déttection de populations significatives (140 isolats)

❖ Aval DO



Milieu PAB-CN

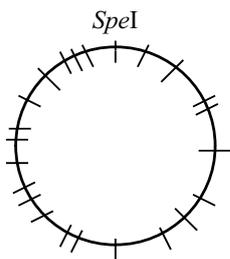


Conclusions:

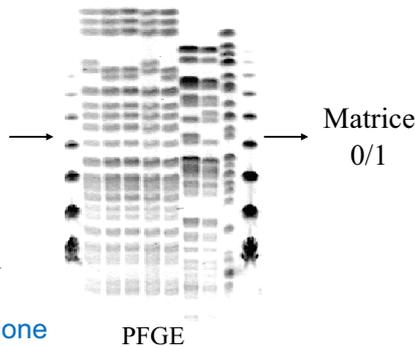
- populations élevées pour quelques sédiments / **persistance probable**



Pseudomonas aeruginosa

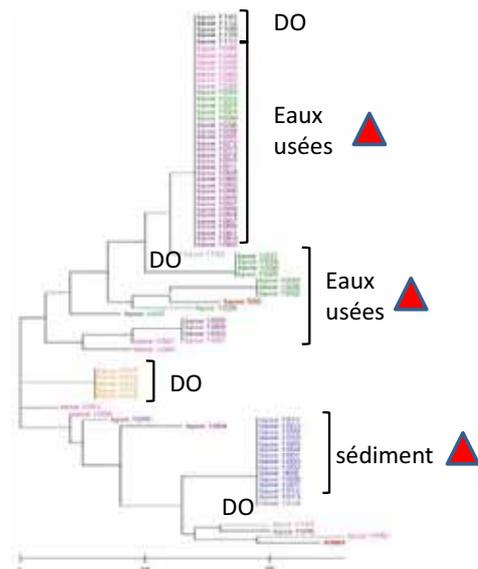


Chromosome bactérien



PFGE

- Profil identique = clone
- moins de 7 bandes de différence = complexe clonal (souche fortement reliée)



Conclusions:

- Clones des eaux usées déversés dans la Chaudanne
- 18 clones / 2 complexes clonaux



Shigella et *Salmonella*

❖ DO – eaux usées

- Détection de salmonelles (après enrichissement)
- Absence de Shigelles



Milieu Hektoen

❖ Aval DO

- 700 isolats obtenus mais aucun validés shigelles ou salmonelles

Conclusions:

- populations faibles mais méthodes disponibles peu appropriées pour l'analyse des eaux
- l'enrichissement est essentiel



Burkholderia du *cepacia* complexe

❖ DO – eaux usées

- absence de Bcc - site Chaudanne
- mais, détection - site Montracol (01) ?



Milieu TB-T

❖ Aval DO

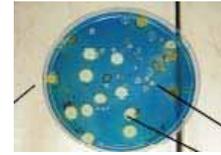
CFU.g⁻¹ sur milieu TB-T agar et hybridation *ecfM*

Conclusions:

- source non-identifiée; possibilités = végétation
- plus fortes abondances dans les sédiments

Aeromonas spp.

- ❖ DO – eaux usées
 - détection dans les eaux usées



Milieu ampicilline
Dextrine agar
(colonies jaunes)

- ❖ Aval DO



Eaux de surface = 10 UFC/ml
Sédiments benthiques = 100 UFC/ml
Eaux hyporhéiques = 20 UFC/ml
Sédiments hyporhéiques = en cours d'analyse



Espèces pathogènes détectées = *A. hydrophila*, *A. caviae*
(50%) *A. v. sobria*

Conclusions:

- populations significatives
- répartition homogène

Conclusions

Bilan 6 mois volet « pathogènes » – ANR INVASION

- DO déverse des agents pathogènes
- hors période de déversement:
 - ❖ détection des indicateurs de contamination fécale
 - ❖ détection de plusieurs agents pathogènes
- démonstration d'un transfert d'agent pathogène depuis les eaux usées vers la rivière
- méthodologie à améliorer pour le dénombrement des shigelles, *Campylobacter*, *Listeria*



Perspectives

Bilan 6 mois volet « pathogènes » – ANR INVASION

- analyse de la zone amont du DO
- poursuite du bilan « pathogènes » des eaux usées et RUTP
- juxtaposition des jeux de données
 - ❖ flux hydriques
 - ❖ géo-morphologie
 - ❖ chimie des eaux
 - ❖ éco-toxicologie

GRAIE – GRAND LYON - Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009



REMERCIEMENTS



Stéphanie PETIT
Manuelle NETO
Laurence VILLARD
Evelyne BORGES
Françoise MAURIN
Laurence LOISEAU
Claire MONNEZ
Simon GIBERT
Sylvie NAZARET
Sabine FAVRE-BONTE
Elisabeth BROTHIER
Véronica RODRIGUEZ-NAVA



Bertrand MOULIN
Guillaume FANTINO
Laurent SCHMITT



Pascal BREIL (HH)
Philippe NAMOUR
Nicole JAFFREZIC



Yves PERRODIN



Sylvie BARRAUD
Laetitia BACOT

Autres financeurs



GRAIE – GRAND LYON - Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009



Partie II : Écotoxicologie, approche prospective

Yves PERRODIN, ENTPE



Intérêt des mesures d'écotoxicité :

- La caractérisation physico-chimique ne renseigne pas, de façon systématique, sur l'écotoxicité d'un effluent,
- Les essais d'écotoxicité ont l'avantage d'intégrer les effets de tous les contaminants présents dans un effluent, et de leurs interactions (entre eux et avec les autres constituants de l'effluent).



Objectifs opérationnels

- Caractérisation de la toxicité potentielle des effluents pour les écosystèmes,
- Caractérisation de l'impact *in situ* des composés toxiques sur les écosystèmes aquatiques
- Propositions d'actions pour une réduction des impacts écotoxiques constatés.

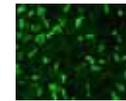


Objectifs scientifiques

- Amélioration des connaissances sur les mécanismes d'action des polluants sur les organismes, à différents niveaux d'organisation biologique :
 - cellule,
 - organisme ,
 - population,
 - communauté.

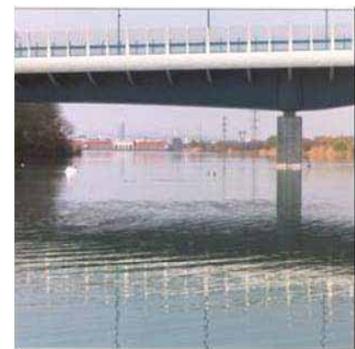
Méthodes

- Réalisation de bio-essais (tests d'écotoxicité) sur les effluents,
- Développement de bio-marqueurs d'exposition et/ou d'impact sur les écosystèmes aquatiques



Exemples en milieu urbain

- Exemple 1 : Caractérisation des effluents hospitaliers,
- Exemple 2 : Caractérisation des RUPT



Les effluents hospitaliers

Importants volumes,

Utilisation de substances spécifiques
(désinfectants, détergents,...),

Importante écotoxicité (littérature,...),

Absence (généralement) de traitement sur place.



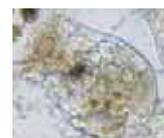
2

Batteries de bioessais

Batterie complète

Batterie simplifiée

organisme	niveau trophique	type d'exposition	critère d'effet et durée d'exposition	
<i>D. magna</i> (invertébré)	C. primaire	aiguë	inhibition de la mobilité 24 et 48h	
<i>V. fischeri</i> (bactérie)	Décom.	aiguë	inhibition de la luminescence 15 et 30 min	
<i>P. subcapitata</i> (algue)	P. primaire	chronique	inhibition de la croissance de la population - 72h	
<i>C. dubia</i> (invertébré)	C. primaire	aiguë	inhibition de la mobilité 24 et 48h	
<i>C. dubia</i>	C. primaire	chronique	inhibition de la croissance de la population et de la reproduction - 7j	
<i>B. calyciflorus</i> (rotifère)	C. primaire	chronique	inhibition de la reproduction 48h	
<i>L. minor</i> (lentille d'eau- végétal supérieur)	P. primaire	chronique	inhibition de la croissance de la population - 7j	en « nombre de fronde » en « surface verte »



7

Site pilote étudié

Hôpital

- capacité : 1 000 lits environ
- rejet : 270 000 m³/an

Prélèvement (avril 2006)

collecteur principal de l'hôpital : 3/4 des effluents

Constitution des échantillons

- 1 moyen-24h (période 13h-13h)
- 5 périodiques: 13h-17h, 17h-23h, 23h-5h, 5h-9h et 9h-13h

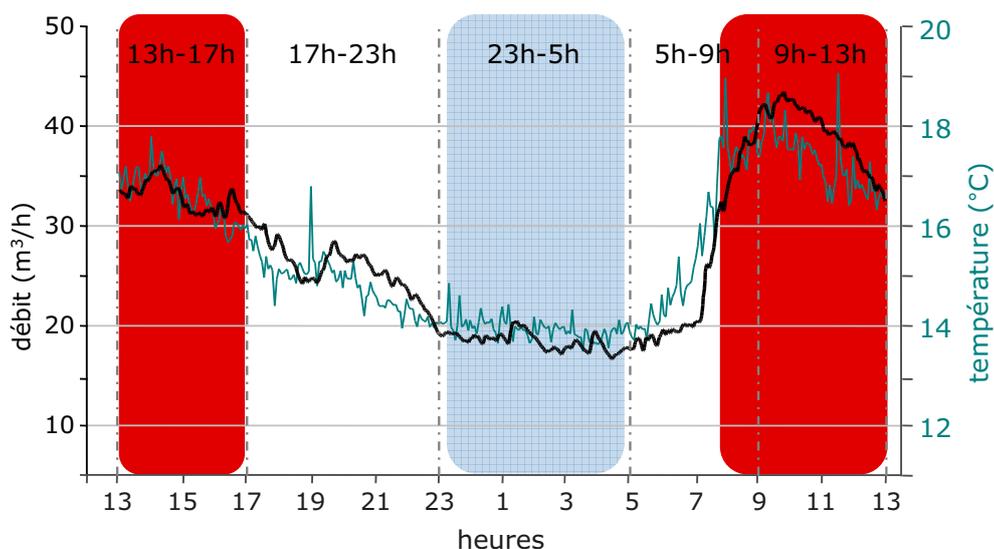


Analyses physico-chimiques:

pH, température, débit, charge organique, AOX, glutaraldéhyde, chlore libre, détergents, alcools, acétone, COVH, formaldéhyde, acétaldéhyde, ammoniums, phénols, bêtabloquants, arsenic et métaux

6

Mesures de terrain : débit, température et pH

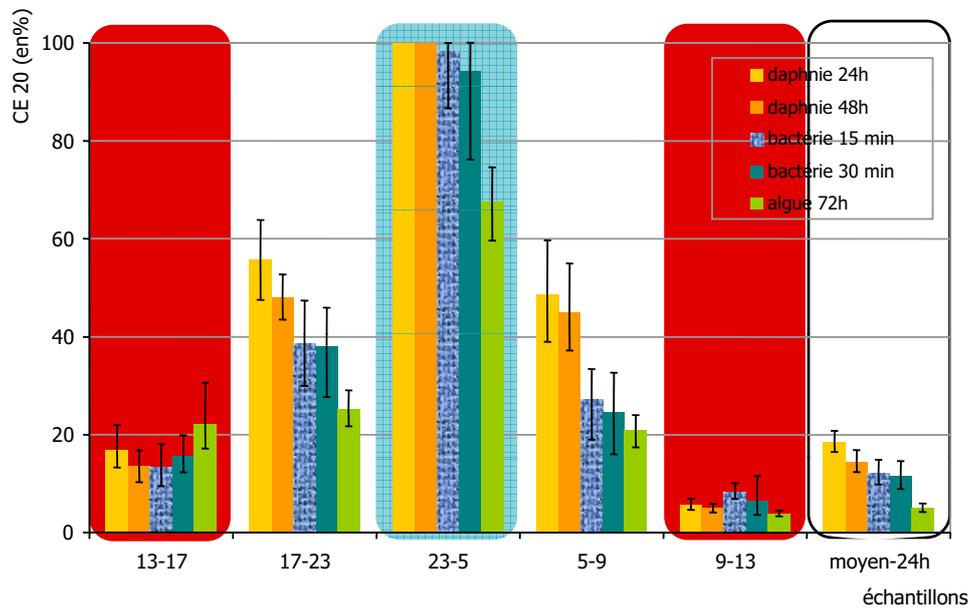


- Variation du pH entre 6,9 et 9,1 au cours de la journée
- Bonne concordance entre périodes, activités de l'hôpital, débits, températures et pH

9



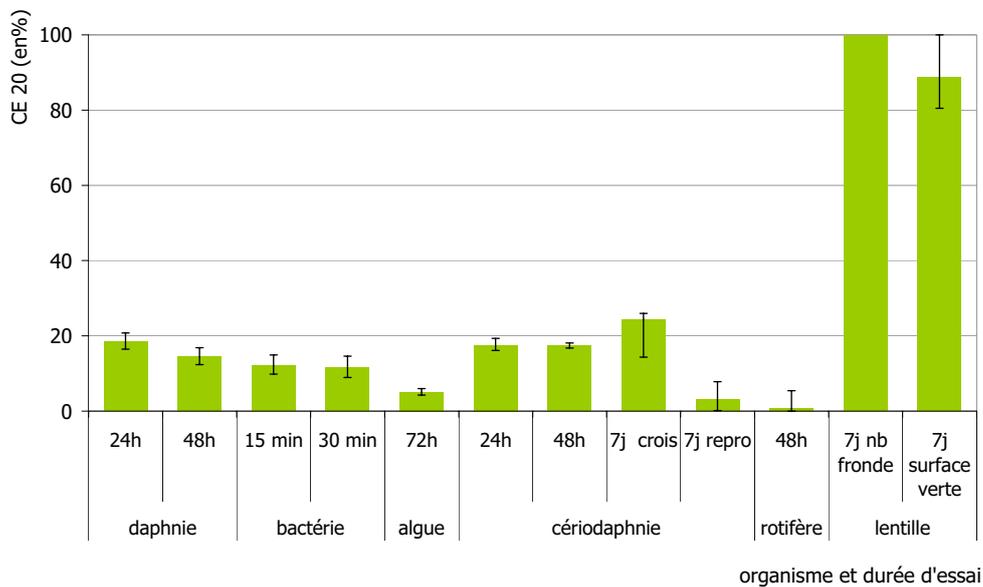
Batterie de bio-essais simplifiée



11



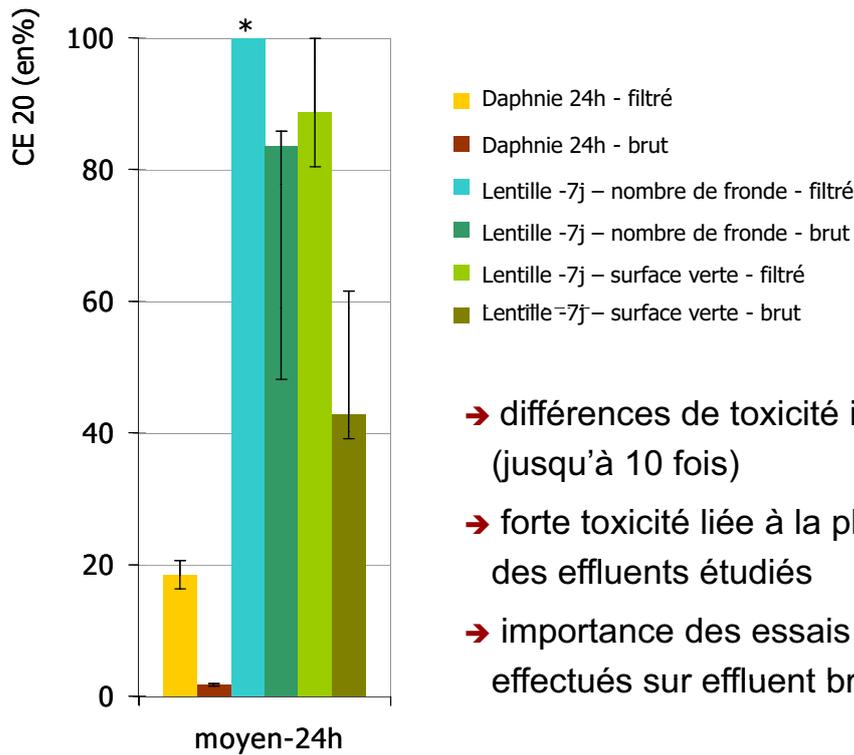
Batterie de bio-essais complète



• Effluent très toxique (Santiago et al., 2002)

12

Échantillon filtré/brut



- différences de toxicité importantes (jusqu'à 10 fois)
- forte toxicité liée à la phase particulaire des effluents étudiés
- importance des essais pouvant être effectués sur effluent brut

13

Identification des substances susceptibles d'expliquer l'écotoxicité

Comparaison des concentrations en polluants mesurées

- 1/ aux valeurs de PNEC (concentration sans effet prévisible sur l'environnement)
 - chlore libre, 2-propanol, cuivre
 - puis : ammonium, zinc, propranolol, éthanol, plomb, formaldéhyde et arsenic.
- 2/ aux CE50-24h daphnie
 - ammonium, chlore libre et cuivre

15

Propositions pour l'amélioration de la gestion des effluents hospitaliers

↳ Gestion de la pollution à la source

- Optimisation de la démarche qualité/quantité/traçabilité des substances utilisées dans l'hôpital,
- Diminution, quand cela est possible, de l'usage de certaines substances (eau de javel, ammoniums quaternaires, ...).

↳ Amélioration du dispositif d'assainissement : mise en place d'unités de pré-traitement :

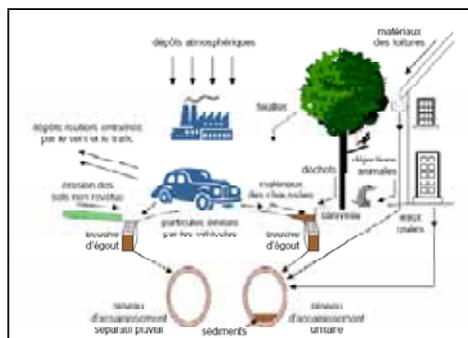
- Système de rétention des particules,
- Traitements spécifiques de l'ammonium et du chlore.

16

GRAIE – GRAND LYON - Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009

Les RUTP

(Rejets Urbains par Temps de Pluie)



(Butler et Clark, 1995; Chocat *et al.*, 2007)



- Volumes importants,
- Polluants multiples (métaux, ammonium, HAP, ...),
- Grande variabilité.

Et

- Aboutissent le plus souvent dans les écosystèmes aquatiques, sans traitement préalable.

GRAIE – GRAND LYON - Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009



Site pilote : DO du Pont de la Barge

BV de la Chaudanne, Grézieu-La-V.

Superficie BV : 2,8 km²

Type de BV : périurbain

- Partie haute : rurale, ≈ 2,2 km²
- Partie basse : urbaine, ≈ 0,6 km²

**Exutoire : DO du Vieux Pont de la Barge
provenant d'un réseau unitaire**

Milieu récepteur : Chaudanne

- Q d'étiage : 0 à 10 L/s
- Q moyen : > 10 L/s à 250 L/s

Pluviométrie moyenne : 800 mm/an

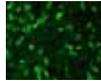
Date prélèvement : 06 février 2007



(Gnouma, 2006)



Batteries de bio-essais

type de toxicité	organisme		critère de toxicité	fraction
aiguë	<i>Daphnia magna</i>		mobilité	eau
	<i>Vibrio fischeri</i>		luminescence	eau & particules
chronique	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>		croissance de la population	eau
	<i>Brachionus calyciflorus</i>			
	<i>Ceriodaphnia dubia</i>			
	<i>Daphnia magna</i>			
	<i>Heterocypris incongruens</i>		mortalité & croissance des organismes	eau & particules



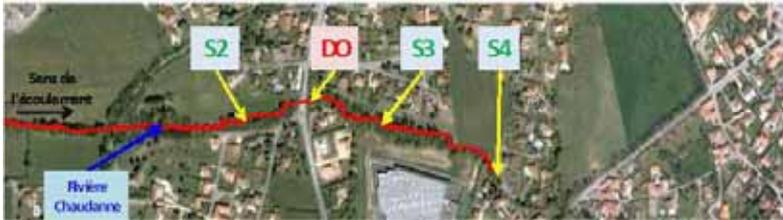
Résultats de la caractérisation des RUTP

- Fraction « eau » peu écotoxique,
- Fraction « particulaire » très écotoxique



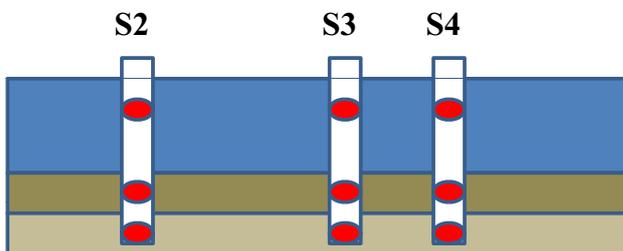
Approche complémentaire :
Caractérisation d'échantillons prélevés
dans les compartiments du cours d'eau

Site pilote : la Chaudanne



Pente moyenne : 0,05 m/m
 Longueur totale : 3,8 km
 Largeur : entre 0,5 et 1,5 m
 Prélèvement : 15 février 2008

- S2 : ≈ 100 m en **amont** du DO
- S3 : ≈ 110 m en **aval** du DO
- S4 : ≈ 300 m en **aval** du DO



Colonne d'eau
 Zone benthique
 Zone hyporhéique



Résultats de l'étude complémentaire :

- Les échantillons de la colonne d'eau **ne sont pas écotoxiques**,
- Les échantillons des compartiments benthiques et hyporhéiques des stations S3 et S4 **sont écotoxiques**,
- L'écotoxicité est plus marquée pour l'échantillon hyporhéique de la station S4.

Cohérence des résultats avec l'analyse des RUTP



Propositions pour l'amélioration de la gestion des RUTP

➤ Amélioration du dispositif d'assainissement : mise en place d'un dispositif de décantation des particules,

➤ Gestion de la pollution à la source : diminution des déversements de composés toxiques.

16



Conclusion générale, Perspectives pour l'OTHU

- Suivi de l'écotoxicité des effluents urbains (eaux pluviales, RUTP, ...), en particulier la fraction particulaire,
- Suivi de l'impact écotoxique sur les milieux (cours d'eaux péri-urbains,...),
- Suivi de la toxicité des effluents vis-à-vis d'écosystèmes artificiels (stations d'épuration,...),
- Mise en place de suivis à long terme (longues chroniques),
- Synergie/complémentarité avec les essais de laboratoire,
- Contribution à la formulation de recommandations :
 - . pour l'amélioration des ouvrages existants,
 - . pour les nouveaux aménagements (EDR).

Pour le développement d'approches
plus stratégiques, d'une gestion plus
globale et de meilleures pratiques :
recherche en cours et perspectives

Sylvie BARRAUD, INSA de Lyon
Jean CHAPGIER, GRAND LYON



10 anset après ?

Jean Chaggier - Grand Lyon



GRANDLYON
Communauté Urbaine

graie

Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009



10 ans de partenariat, de recherche, et d'innovation

Nous venons de voir une collaboration :

- durable car co-construite par les scientifiques et les gestionnaires de la ville;
- dans la continuité du thème initial « hydrologie urbaine » tout en sachant s'adapter et évoluer;
- tournée vers le partage des connaissances, les échanges d'expérience et la valorisation opérationnelle.

GRANDLYON
Communauté Urbaine

graie

Hôtel de la communauté urbaine de Lyon – Mardi 20 octobre 2009

En cours.....

Une amélioration continue possible du fonctionnement actuel:

- Métrologie: entretien, maintenance, renouvellement, transfert, validation et bancarisation des données;
- Mise à disposition et valorisation plus organisée des données entre laboratoires et autres partenaires;
- Des demandes plus formalisées des opérationnels;
- Des transferts plus didactiques vers les opérationnels;
- Un comité scientifique à solliciter et écouter mieux....

En cours et perspectives

Échelle des territoires
2007

2010

Perspectives

Europe

Pôle de compétitivité chimie environnement

AXELERA

Projet Rhodanos

Recherche et développement

Élaboration du 2ème programme finalisé de recherche OTHU scientifique opérationnel (en cours)

Local



PREPARED

1. **EAU et SANTE** : nouvelles substances (hormones, médicaments), impact du changement climatique
2. **APPROCHES SOCIO-ECONOMIQUES** : acceptabilité, innovation, développement d'activités nouvelles
3. **GOVERNANCE** : évolution des organisations, implication des usagers, évaluation

OTHU

Programmes de recherche

ECOPLUIES: Techniques alternatives de traitement des eaux pluviales et de leurs sous-produits: vers la maîtrise du fonctionnement des ouvrages d'infiltration urbains (2006/2008)

ESPRIT: Evaluation des Substances Prioritaires dans les Rejets Inhérents au Temps de pluie

AVUPUR: Assessing the Vulnerability of Peri-Urban Rivers (2008/2011)

INTEGREAU: Chaîne de mesure de Métaux Lourds - Micro-système générique pour l'application de la Directive Cadre européenne sur l'eau (2008/2011)

SEITEUP: Systèmes extensifs pour la gestion et le traitement des eaux urbaines de temps de pluie (2009/2012)

Couplage avec d'autres observatoires :

HURRBIS

Futurs contrats:

- Évaluation de la politique publique de l'eau : Outil méthodologique d'aide à la gestion intégrée d'un système d'assainissement. **Projet ANR OMEGA**

Thèmes



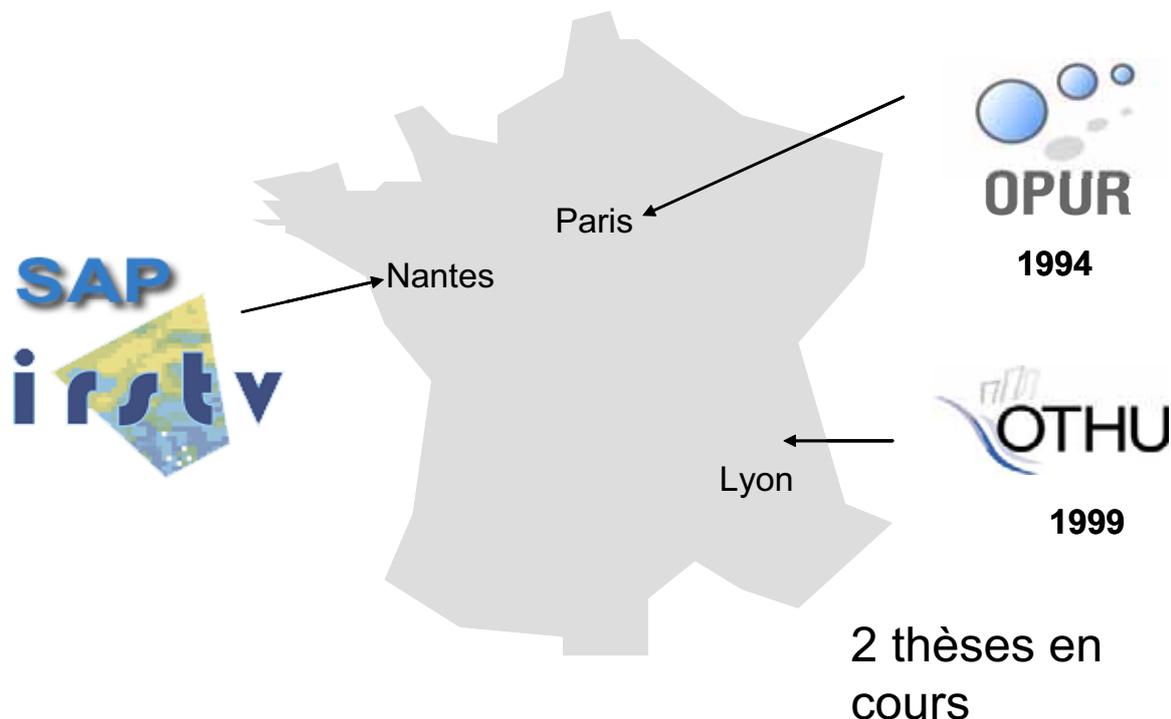
Evolution ...

- En terme de thématiques
- En terme d'approches et de dispositifs
 - Améliorer les dispositifs de mesure et de surveillance plus légers, moins chers ou plus fiables (micro-capteurs, bio-capteurs, écotox, procédures)
 - Modélisation (locale et globale)
 - Couplage d'autres structures complémentaires
 - HURRBIS (2 Thèses)
 - Plateforme de tests (PROVADEMSE)
 - ZA (ZABR, ZA Villes ?)
 - ...



Développer un ancrage national plus fort

HURRBIS (Réseau des Observatoires Français en H. U.)





Evolution ...

- En terme de thématiques
- En terme d'approches et de dispositifs
- En terme d'amélioration du transfert et de la mise en réseau
 - Appropriation des connaissances & outils par les opérationnels
 - Outils de formation (mises en situation, exercices, ...)
 - Outils de partage des données
 - Ouverture à d'autres partenaires notamment au niveau international via WSSTP mais pas seulement ...



<http://www.othu.org>

Rendez-vous dans 10 ans, même date, même lieu, même ...



NOVATECH
2010

28 juin – 1^{er} juillet 2010 / June 28th – July 1st 2010

7th INTERNATIONAL CONFERENCE
ON SUSTAINABLE TECHNIQUES AND STRATEGIES
IN URBAN WATER MANAGEMENT
LYON – FRANCE

CALL FOR PAPERS
APPEL A COMMUNICATIONS

7^e CONFÉRENCE INTERNATIONALE
SUR LES TECHNIQUES ET STRATÉGIES DURABLES POUR
LA GESTION DES EAUX URBAINES PAR TEMPS DE PLUIE
LYON – FRANCE

www.novatech.graie.org

graie



Reproduit sur papier recyclé Cyclus **Papier recyclé**

graie

GROUPE DE RECHERCHE RHONE-ALPES
SUR LES INFRASTRUCTURES ET L'EAU
BP 52132 - 69603 Villeurbanne cedex - France
Tél. : 04 72 43 83 68 • Fax : 04 72 43 92 77
E.mail : asso@graie.org - www.graie.org