



OBSERVATOIRE DE TERRAIN EN HYDROLOGIE URBAINE
FIELD OBSERVATORY FOR URBAN WATER MANAGEMENT

Résultats de recherche et données acquises

2^{ème} Séminaire Scientifique de l'OTHU

Mercredi 25 janvier 2006
de 9h00 à 17h00

Hôtel de la Communauté
Urbaine de Lyon (69)

S O M M A I R E

Avant propos

Supports d'intervention de la journée

Construction d'entrées normalisées pour les modèles hydrologiques urbains à partir de pluies spatialisées.

J-P. Bardin, B. Chocat - INSA de Lyon; J. Comby, F. Renard – *Université Lyon III*

Approche hydro physico-chimique de l'interface ouvrage sol d'un bassin d'infiltration: Comportement multi échelle

C. Delolme, J-P. Bedell, H. Larmet, T Winiarski – *ENTPE*;
S. Barraud, S. Lecoustumer - *INSA DE LYON*; B. Clozel – *BRGM*

Importance de la faune aquatique sur le fonctionnement de systèmes impactés par des sédiments issus du ruissellement des eaux pluviales en milieu urbain.

F. Mermillod-Blondin, G. Nogaro - *UCBL LYON I*; J-P. Bedell, A. Ohannessian - *ENTPE*; F. Malard, J. Gibert – *UCBL LYON I*

Impact des bassins d'infiltration sur la biodiversité souterraine.

F. Malard, T. Datry, G. Bouger, J. Gibert – *UCBL LYON I*

Construire des indicateurs de performances pour la conception et la gestion de stratégies d'infiltration :Quelques éléments méthodologiques

S. Barraud, P. Macedo Moura – *INSA de Lyon*; Y. Perrodin – *ENTPE*; F. Malard – *UCBL LYON I*

Impacts hydrologiques, morphodynamiques et écologiques de l'urbanisation sur les petites rivières : développements méthodologiques et premiers résultats.

P. Breil, M. Lafont, P. Namour - *Cemagref de Lyon*; B. Chocat - *INSA de Lyon*; L. Schmidt, L. Grosprêtre - *Université Lyon II*

De l'estimation en continu de la DCO par spectrométrie UV Visible

A. Torres, J-L. Bertrand Krajewski - *INSA de Lyon*

A V A N T P R O P O S

L'OTHU – Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine

L'OTHU est un laboratoire de recherche hors murs, reposant sur un ensemble d'appareils 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.

Cet observatoire est destiné à :

- Acquérir des connaissances sur l'eau précipitée, les volumes d'eau et les masses de polluants rejetés par la ville, sur le devenir de ces rejets dans les milieux naturels et sur leurs impacts sur les différents écosystèmes ;
- Valider et caler des modèles permettant d'évaluer les rejets urbains ainsi que leurs effets sur les milieux naturels et anthropisés ;
- Mettre au point et évaluer des stratégies innovantes de gestion des eaux produites par l'agglomération (eaux usées et eaux pluviales)

Complémentarité des partenaires

L'OTHU constitue le support de travaux de recherche menés depuis 1999 par une quarantaine de chercheurs issus de 13 équipes ou laboratoires de recherche lyonnais, ceci en étroite collaboration avec les acteurs de terrain que sont notamment le Grand Lyon et l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse.

Enfin, l'OTHU s'intègre dans la Zone Atelier Bassin du Rhône, dispositif plus large de structuration et valorisation de la recherche dans le domaine de l'eau, sur le bassin versant du Rhône.

Système métrologique et sites expérimentaux de l'OTHU :

Deux milieux récepteurs, jugés particulièrement sensibles, sont étudiés au sein de l'OTHU : la nappe de l'est lyonnais; et l'Yzeron et ses affluents, représentatifs des petites rivières périurbaines de l'ouest lyonnais.

Afin d'étudier ces milieux, un système métrologique est déployé depuis 1999. Cinq sites expérimentaux, représentatifs de différents modes d'urbanisation et d'assainissement, ont été identifiés. Un dispositif pluviométrique et météorologique réparti sur la totalité du territoire vient compléter les différents sites expérimentaux.

Ces cinq sites feront l'objet de visite technique durant ce séminaire scientifique.

Les séminaires scientifiques de l'OTHU

Un élément important du fonctionnement de l'OTHU est la réalisation d'actions de valorisation et la diffusion des résultats de recherche acquis.

Ainsi, nous avons retenu le principe d'organiser en alternance une manifestation chaque année :

- une journée technique pour présenter les retombées techniques et opérationnelles de l'OTHU
- un séminaire scientifique pour exposer et discuter des dernières avancées obtenues dans le cadre des recherches OTHU

L'objectif principal de ces séminaires scientifiques est de faire connaître les résultats de recherche acquis dans le cadre de l'OTHU et de diffuser aussi largement que possible les données obtenues.

Un deuxième objectif est également de susciter l'intérêt des chercheurs, éventuellement étrangers, de favoriser les échanges de données et de développer des collaborations nouvelles dans le cadre de projets nationaux ou internationaux.

Construction d'entrées normalisées pour les modèles hydrologiques urbains à partir de pluies spatialisées.

J-P. Bardin, B. Chocat - INSA de Lyon;
J. Comby, F. Renard – Université Lyon III



CONSTRUCTION D'ENTREES NORMALISEES POUR LES MODELES HYDROLOGIQUES URBAINS A PARTIR DE PLUIES SPATIALISEES

J.P. Bardin – B. Chocat : INSA URGC HU

J. Comby – F. Renard : LCRE CNRS UMR 5600 Univ. Lyon III

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon



Introduction :

Problème posé :

Choix et représentation des pluies dans les modèles hydrauliques

Il repose sur **2 thèmes d'analyse** : L'**interpolation spatiale** de la pluie sur l'agglomération lyonnaise et la **construction de chroniques de pluie** représentatives

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon



L'exposé est traité en quatre parties :

- Présentation du réseau de mesure du Grand Lyon
- Choix d'une méthode de spatialisation adaptée au contexte de l'agglomération lyonnaise

Présentation des différentes méthodes d'interpolation spatiale et leur évaluation sur le Grand Lyon

- Évaluation des rejets par les Déversoirs d'Orage du Grand Lyon en 12 ans :

Quelle entrée pluvieuse ? → construction de chroniques réelles

A quelle échelle spatiale ? → choix d'une méthode de spatialisation

- Perspectives



1 . 1 - Le réseau de mesure de la pluie au sol sur l'agglomération lyonnaise

L'agglomération lyonnaise : Un des réseaux les plus denses d'Europe avec plus de 40 stations sur 460 km²



• **Le réseau propre du Grand Lyon** : 29 pluviomètres

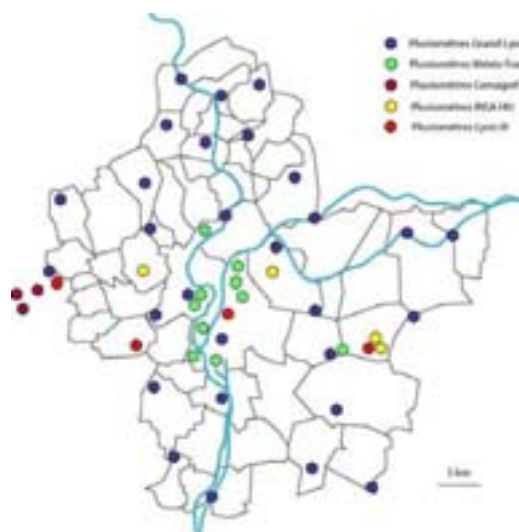
- Pluviomètres à auget basculeur
- Installés depuis 1985
- Les données sont accessibles à des pas de temps modulable
- Les données utilisées dans le cadre de cette étude sont celles de ce réseau sur un pas de temps de 6 minutes



D'autres stations pluviométriques sont mobilisables :



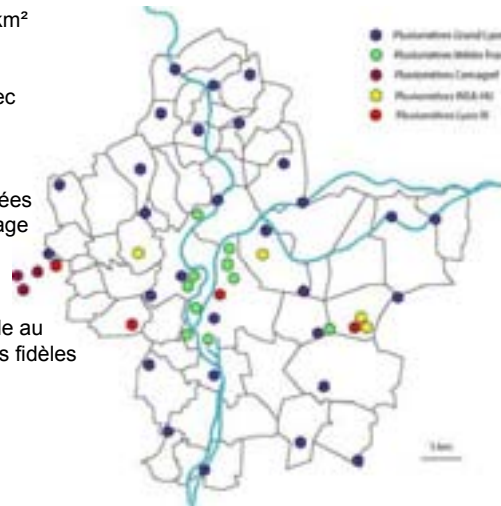
- Grand Lyon : 29 pluviomètres
- Météo France : 12 pluviomètres
- Cemagref : 3 pluviomètres
- OTHU : 8 pluviomètres



Le réseau de mesure au sol de la pluie du Grand Lyon :



- Forte densité : 1 pluviomètre pour 12 km²
- Un réseau relativement homogène avec quelques nuances
- D'autres implantations sont programmées à des fins de rationalisation et de couplage avec les mesures radar
- La forte densité du réseau est favorable au développement d'interpolations spatiales fidèles à la distribution de la pluie



1 . 2 - Présentation des méthodes d'interpolation spatiale

- De multiples méthodes d'interpolation spatiale regroupées sous plusieurs typologies :
 - Méthodes déterministes / stochastiques (Baillargeon, 2005)
 - Méthodes classiques / analytiques / optimales (Desbordes, 1987)
- 4 méthodes d'interpolation spatiale retenues pour analyse :
 - Méthodes classiques :
 - *Méthode d'interpolation linéaire des moyennes pondérées*
 - *Méthode des polygones de Thiessen*
 - Méthode analytique :
 - *Méthode par interpolation polynomiale (Analyse en Surface de Tendence)*
 - Méthode optimale :
 - *Méthode de krigeage ordinaire*



A priori, on peut s'attendre à ce que les méthodes classiques donnent des résultats moins représentatifs que les méthodes analytiques et optimales

1 . 3 – Exemple d'analyse comparative des différentes méthodes de spatialisation sur les données du Grand Lyon

▪ **Objectif** : Déterminer la méthode de spatialisation la plus adaptée au Grand Lyon à partir de 2 critères :

- ❶ Représentativité des résultats
- ❷ Efficacité fonctionnelle (temps et pratique)

▪ **Sources** : 150 épisodes analysés

Sélection des épisodes sur 3 critères :

- ❶ Un critère IdF
- ❷ Présence de nuisances (définies par des critères économiques)
- ❸ Présence de SCME

▪ **Méthodologie** utilisée pour les *Analyses*

Deux types d'analyse utilisées:

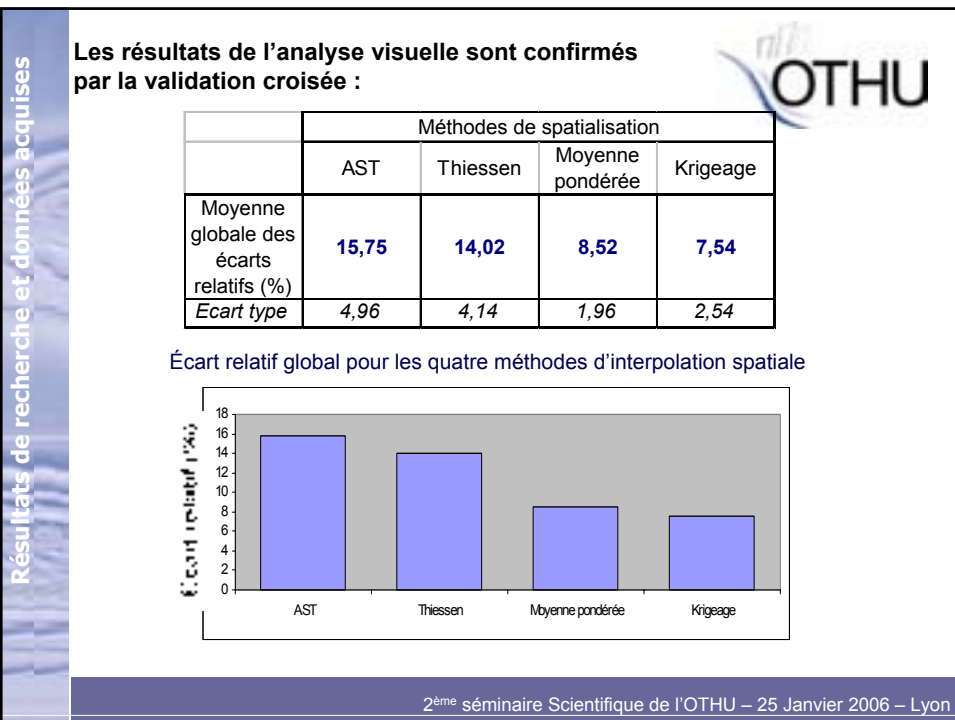
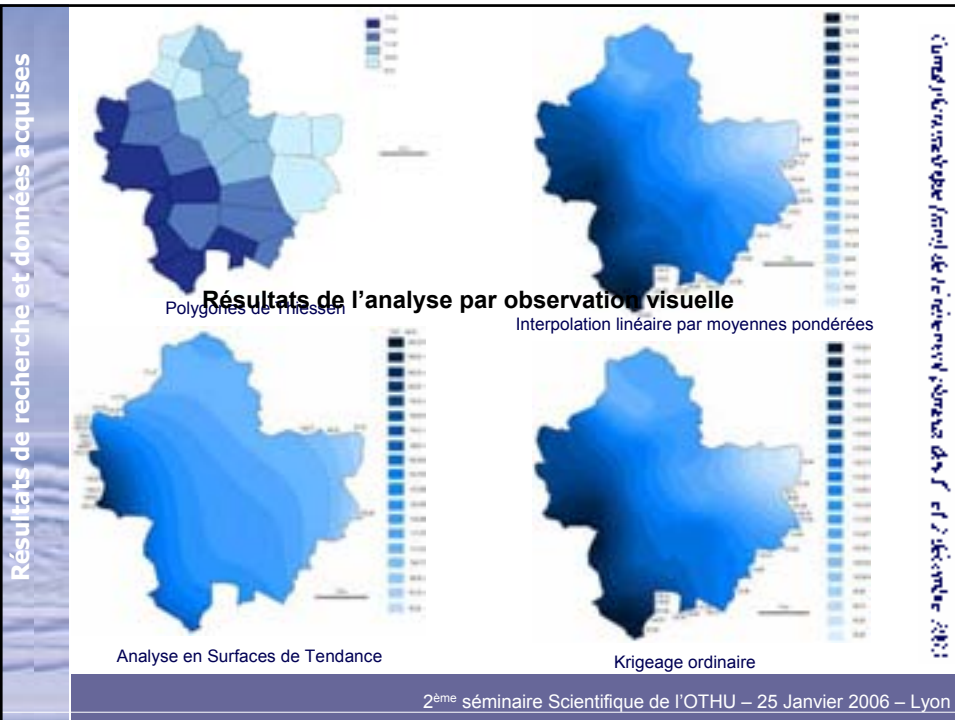
- Une estimation par observation visuelle

Principe : Production d'interpolation à plusieurs pas de temps (6 min, 30 min, 2h et cumul total de l'épisode)

- Une estimation par validation croisée

- ❶ Tirage au sort sans remise de 50 % des pluviomètres disponibles
- ❷ Réalisation des cartes de spatialisation à partir des pluviomètres choisis aléatoirement
- ❸ Lecture de la valeur de l'interpolation aux pluviomètres restants non choisis
- ❹ Calcul de l'écart relatif entre les valeurs observées et les valeurs estimées pour les quatre méthodes de spatialisation
- ❺ Répétition de cette méthode 20 fois pour plus de représentativité
- ❻ Calcul des moyennes globales des écarts relatifs pour les quatre méthodes de spatialisation

→ - Seul l'événement du *1er et 2 décembre 2003* et le cumul total de l'épisode ont été retenus pour la présentation car les résultats sont représentatifs des autres épisodes pluvieux, et il s'agit de l'un des épisodes les plus intenses de ces 15 dernières années



▪ Conclusion de l'analyse comparative des différentes méthodes de spatialisation sur les données du Grand Lyon :



- Les estimations présentent des différences significatives selon les méthodes utilisées mais elle ne traduisent pas une hiérarchie claire par type de méthode (classique, analytique et optimale).
- Faible efficacité des méthodes des polygones de Thiessen (15, 75 %) et de l'Analyse en Surface de Tendence (14, 02 %)
- Bien meilleure efficacité des méthodes d'interpolation par krigeage (7, 54 %) et d'interpolation linéaire des moyennes pondérées (8, 52 %)

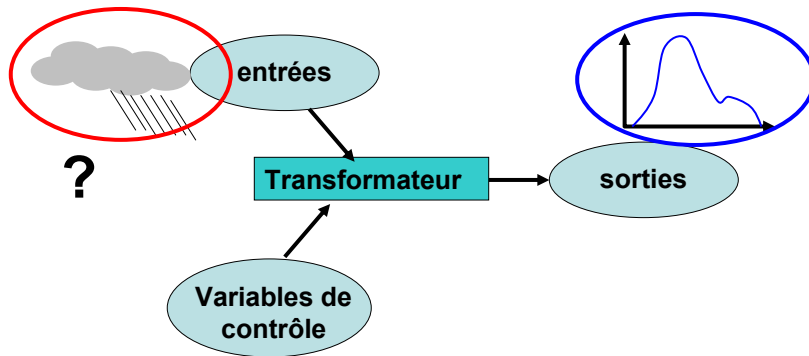


En résumé, l'efficacité de la méthode d'interpolation linéaire des moyennes pondérées est due à la forte densité du réseau lyonnais. Elle peut être préférée à la méthode de krigeage car elle est beaucoup plus souple d'utilisation.



2 – Exemple de construction d'une série représentative pour évaluer les rejets par les déversoirs d'orage

Introduction



Critères de choix et de représentation des pluies

- Représentativité de la pluviométrie locale
- Association d'une période de retour aux sorties
- Normalisée et simple d'emploi
- Adaptée au transformateur
- Adaptée à la précision souhaitée
- Unique ou **chronique de pluies**
- Ponctuelle ou **3D**

OBJECTIFS

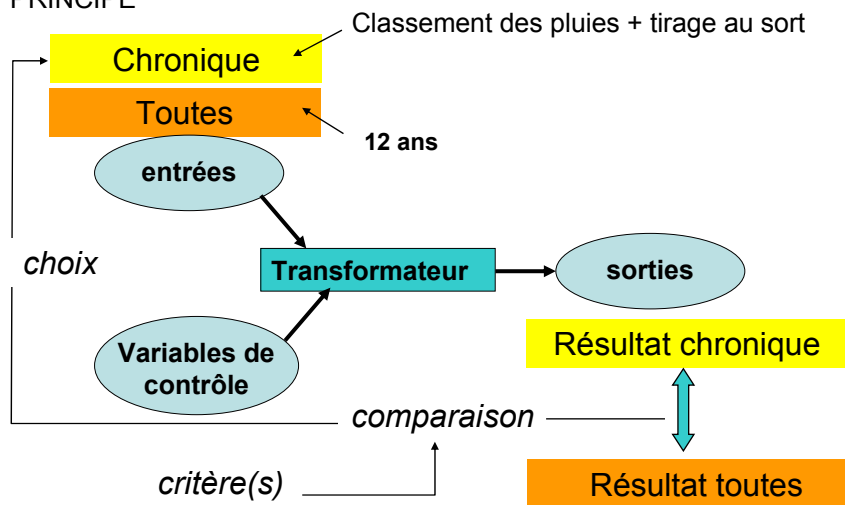
- Hiérarchiser les DO en fonction du volume moyen annuel rejeté
- Identifier le sous groupe de DO responsable de 70% des rejets
- Evaluer l'ordre de grandeur du volume rejeté par DO

CONTRAINTES

- Utilisation du réseau de pluviomètres du Grand Lyon
- Répartition spatio-temporelle des pluies
- Définition des pluies à l'échelle du Grand Lyon
- Sélection des chroniques de plus petite taille

2 – Exemple de construction d'une série représentative pour évaluer les rejets par les déversoirs d'orage

PRINCIPE



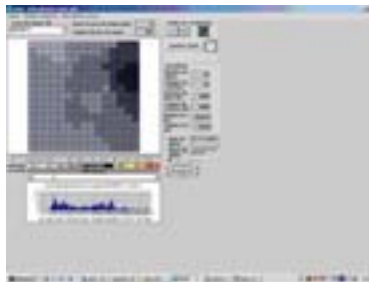
2 – Exemple de construction d'une série représentative pour évaluer les rejets par les déversoirs d'orage



METHODE DE CONSTRUCTION

Modèle spatio-temporel

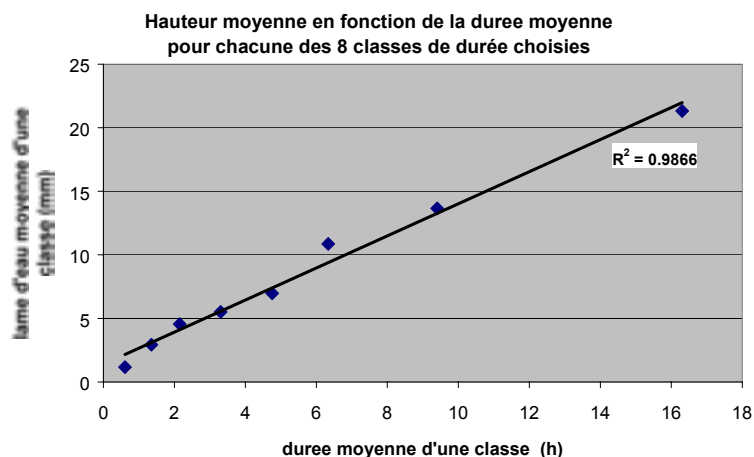
- maille 2 km * 2 km
- pas de temps de 6'
- délimitation et tri
 - seuils d'intensité
 - seuils de hauteur
- analyse statistique ACP imax18 H D
- répartition par classes (D, H) et (D, imax18)



2 – Exemple de construction d'une série représentative pour évaluer les rejets par les déversoirs d'orage



RESULTAT INTERESSANT



2 – Exemple de construction d'une série représentative pour évaluer les rejets par les déversoirs d'orage



RESULTATS

Solution de référence



	moyenne	écart type
STEP	943	116
48191	661	109
48263BIS	417	85
48047do	85	23
40637	68	38
76680	10	8
94904	7	7
67641	6	3

VOLUME MOYEN ANNUEL DEVERSE

Faible variabilité d'une année à l'autre

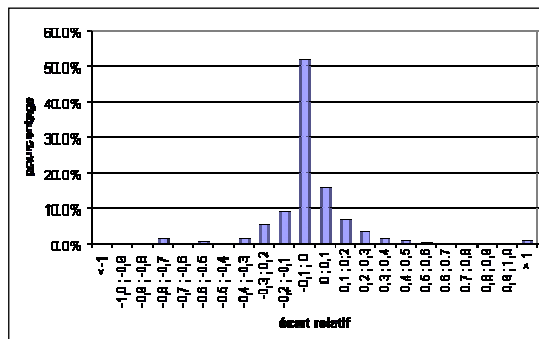
2 – Exemple de construction d'une série représentative pour évaluer les rejets par les déversoirs d'orage



RESULTATS

Chroniques

VOLUME PLURI-ANNUEL DEVERSE



précision	% chroniques
10%	68%
20%	84%
30%	92%

2 – Exemple de construction d’une série représentative pour évaluer les rejets par les déversoirs d’orage



RESULTATS

Sélection de la chronique la mieux adaptée / 1 critère

- Différents critères d'écart

$$E_{1i} = \frac{\sum_{j=1}^{ndo} V_{totdo,j,ref} [V_{totdo,j,i} - V_{totdo,j,ref}]^2}{\sum_{j=1}^{ndo} V_{totdo,j,ref}^3}$$

$$E_{2i} = \frac{\sum_{j=1}^{ndo} V_{totdo,j,ref} [V_{do,j,max,i} - V_{do,j,max,ref}]^2}{\sum_{j=1}^{ndo} V_{totdo,j,ref} \times V_{do,j,max,ref}^2}$$

$$E_{3i} = \frac{\sum_{j=1}^{ndo} V_{totdo,j,ref} [ndo_{j,i} - ndo_{j,ref}]^2}{\sum_{j=1}^{ndo} V_{totdo,j,ref} \times ndo_{j,ref}^2}$$

2 – Exemple de construction d’une série représentative pour évaluer les rejets par les déversoirs d’orage



RESULTATS

Sélection de la chronique la mieux adaptée / 1 critère

Exemple de E1 sur Meyzieu

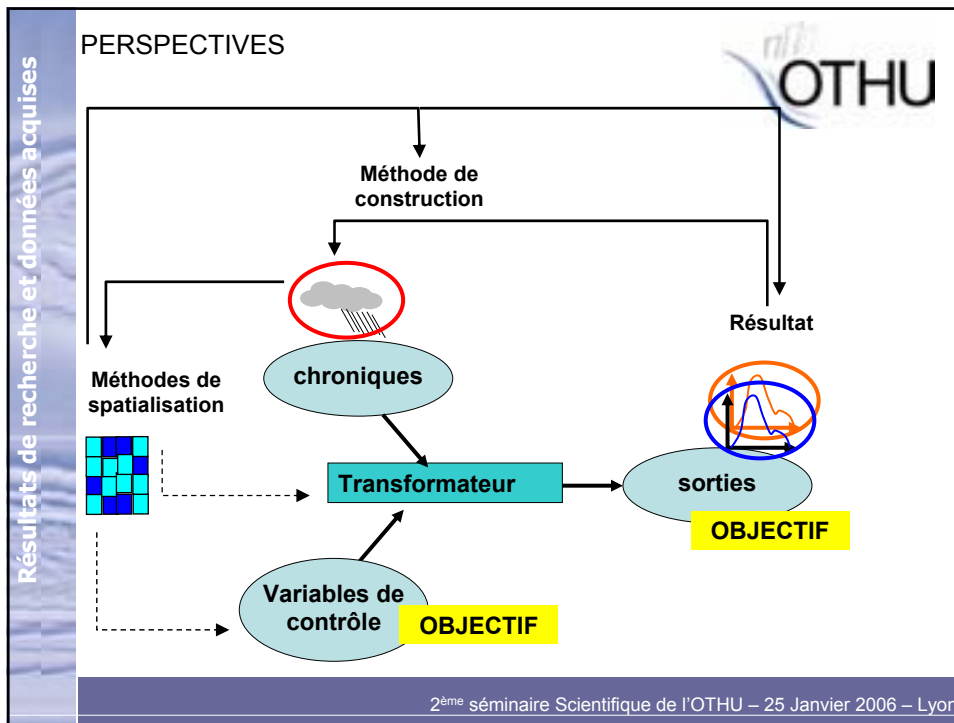
déversoir	volume moyen annuel rejeté (10 ³ m ³)		nombre moyen annuel de rejets	
	référence	chronique	référence	chronique
108244	702	708	49	63
108245A	270	266	64	64
108241	251	255	43	63
6033	227	231	35	42
57362	95	96	64	64
56513	69	71	40	42
total	1613	1626	295	339

CONCLUSIONS

- **Construction de chroniques pour évaluer les rejets des DO**
- Bonne efficacité de chroniques / volume déversé
- Efficacité correcte mais moindre / nombre de rejets
- Bonne adaptabilité aux aspects hydrauliques

PERSPECTIVES

- **Analyse comparative des différentes méthodes de spatialisation sur les données du Grand Lyon**
- Dégradation de l'information des pluviomètres (densité)
- Test des méthodes en local selon le contexte
- Intérêt de méthodes « dynamiques » pour certains objectifs (GTR)
- **Construction de chroniques pour évaluer les rejets des DO**
- Raccourcir les chroniques
- Construire des chroniques mieux adaptées à certains objectifs spécifiques
- Utilisation éventuelle des données radar pour améliorer les modèles de spatialisation



Approche hydro physico-chimique de l'interface ouvrage sol d'un bassin d'infiltration: Comportement multi-échelle

C. Delolme, J-P. Bedell, H. Larmet, T Winiarski – ENTPE;
S. Barraud, S. Lecoustumer - INSA DE LYON;
B. Clozel – BRGM



Approche hydro physico-chimique de l'interface ouvrage sol d'un bassin d'infiltration : Comportement multi échelle

C. Delolme, J.P. Bedell, T. Winiarski, H. Larmet, S. Barraud, S. Le Coustumer, B. Clozel

Laboratoire des Sciences de l'Environnement ENTPE, Vaulx-en-Velin

URGC, Insa LYON

BRGM, Lyon

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Les résultats acquis : caractérisation physico-chimique

	Django Reinhardt Hiver 2005	Django Reinhardt Ete 2005	Autres sédiments (Programme V. Ruban)
MV %	15,5	14,0	14 - 22
COT g/kg	94	78,1	90-190
NTK g/kg	7,5		5-8
Ptot g/kg	1571		1200-1900
Cd (mg/kg)	2,58	5,60	1-7
As (mg/kg)	11,06	7,00	
Cr (mg/kg)	181	213	90-300
Cu(mg/kg)	232	230	110-320
Ni (mg/kg)	116	131	40-500
Pb (mg/kg)	165	134	190-633
Zn (mg/kg)	2354	2415	1040-1900
Fe Al Mn (g/kg)	27 / 35,4 / 0,44	22 / 31,25 / 0,3	30-35/36-71/0,5
Ca Mg Na K(g/kg)	104,5 / 6,9 / 5 / 10,45	141,3 / 10 / 4,3 / 5,85,60	8-127/8/3-12/11-24
Si (mg/kg)	226,7		156 - 250

Les résultats acquis : caractérisation bio physico-chimique



- Teneur en hydrocarbures linéaires et aromatiques très élevée
- Zn, Cd majoritairement dans la fraction échangeable
- Cu associé à la matière organique
- Cr et Ni majoritairement dans la fraction résiduelle
- Toxicité faible des lixiviats sur bioessais normalisés
- Très forte densité de bactéries actives

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Les questions émergentes



- Modéliser le fonctionnement hydrodynamique de l'ouvrage
 - Connaître le fonctionnement global et diachronique de l'ouvrage
 - Permettre de prévoir l'évolution du colmatage
 - Connaître les temps de séjour de l'eau et les vitesses d'infiltration dans la zone non saturée
- Evaluer les flux de polluants vers la nappe
 - Quantifier la pollution totale retenue sur la surface du bassin
 - Evaluer la mobilité des polluants (métaux et hydrocarbures) et des micro-organismes
 - Identifier les scénarios « à risque » pour la nappe.

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats de recherche et données acquises

De la caractérisation globale à l'étude de certains processus




Echelle de l'ouvrage

- Capacité globale d'infiltration
- Quantités totales de polluants piégés en surface et variabilité spatiales
- Quantités totales infiltrées dans la nappe


microscopique macroscopique mégascopique

Echelle d'approche

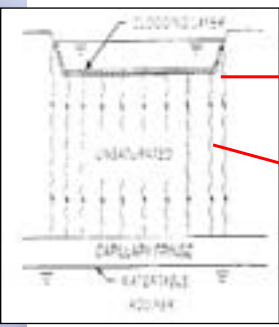

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats de recherche et données acquises

Colmatage performance



- Modèle de Bouwer (conceptuel à base physique): évaluation de la résistance hydraulique globale du système
- Indicateur d'état de l'ouvrage

$$Q = K_c \frac{h_0 - h_{cr}}{e} S = \frac{h_0 - h_{cr}}{R} S$$

Q : débit d'infiltration
 h₀ : hauteur d'eau
 h_{cr} : potentiel de pression
 e : épaisseur de la couche colmatée
 S : surface d'infiltration
 R : résistance hydraulique

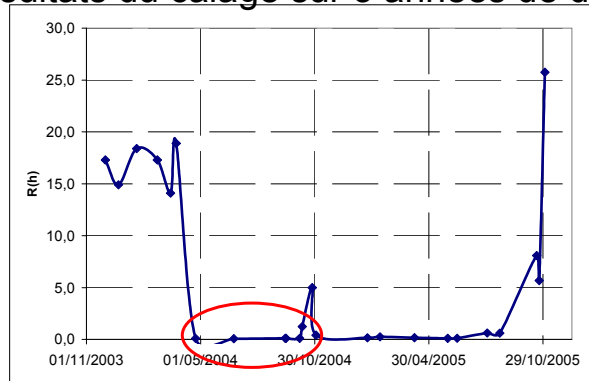
Calibration de R

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Colmatage performance



- Résultats du calage sur 3 années de données

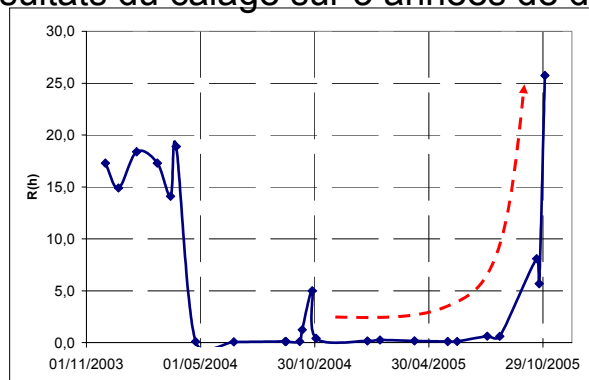


- Après décolmatage : R faible

Colmatage performance



- Résultats du calage sur 3 années de données



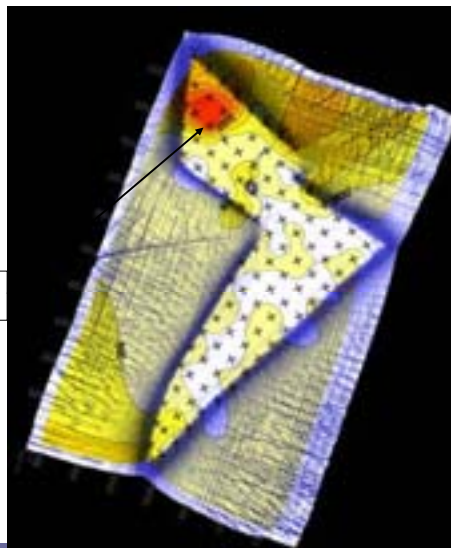
- Augmentation avec le temps de la résistance hydraulique

Variabilité spatiale des concentrations



- Variabilité de la teneur en polluants sur la surface (ex : Zn)

Aspects historiques



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

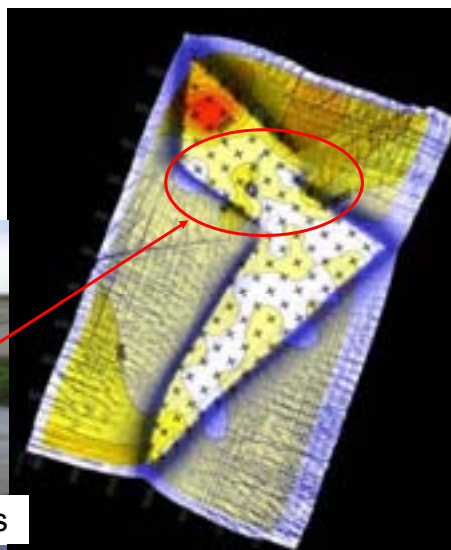
Variabilité spatiale des concentrations



- Variabilité de la teneur en polluants sur la surface (ex : Zn)



Fréquences de sollicitations

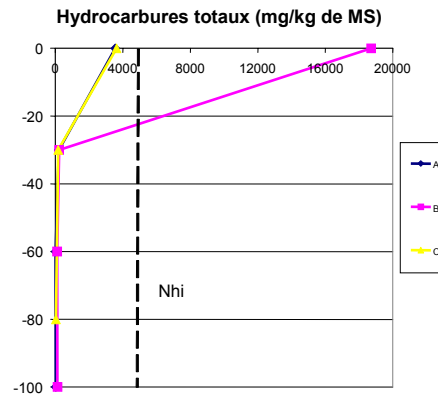


2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Variabilité spatiale des concentrations



- Variabilité de la teneur en polluants sur la surface (ex : Zn)
- Hydrocarbures dans le sédiment de surface



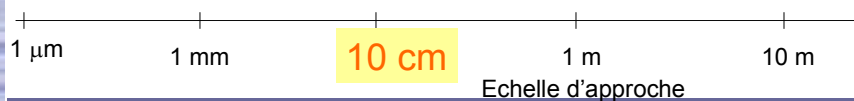
2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

A l'échelle décimétrique



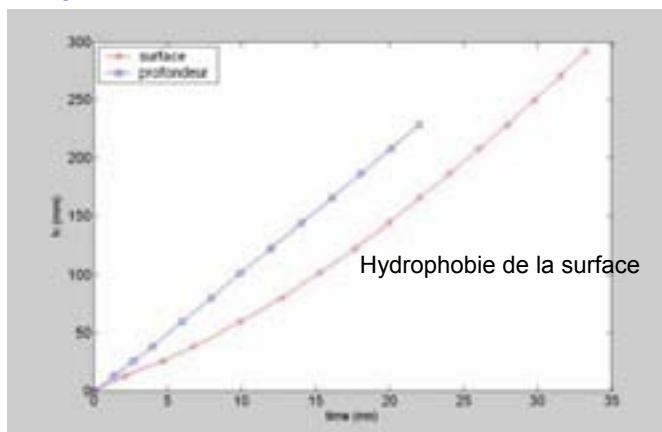
EMMAUS LCPC Nantes

- Mesure des propriétés hydrodynamiques de la surface
- Influence des conditions hydrodynamiques sur la mobilité des polluants et des micro-organismes



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Caractérisation des propriétés hydrodynamiques

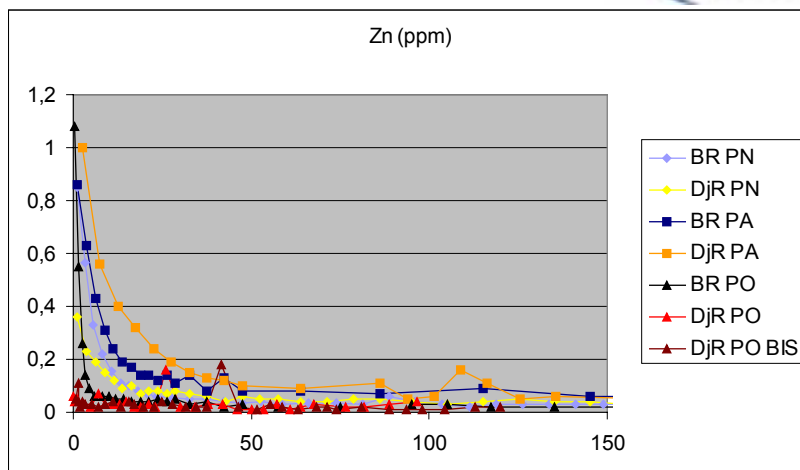


EMMAUS, LCPC

Essai d'infiltration sur la surface du bassin et en profondeur
Détermination des courbes caractéristiques de la surface

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

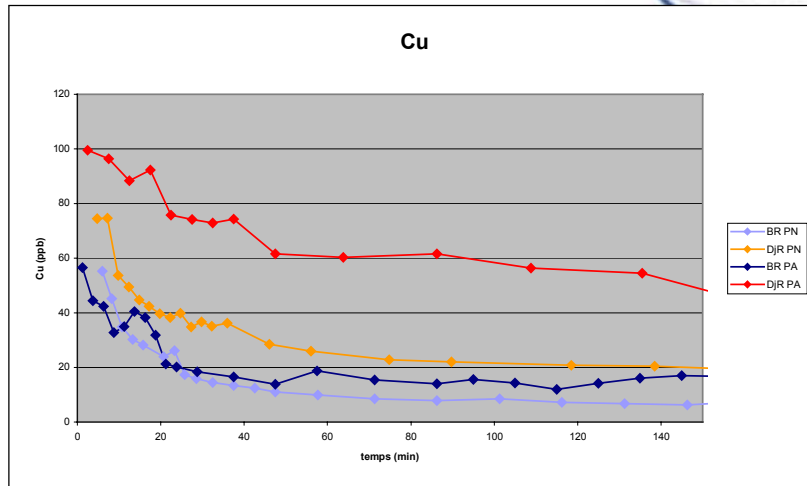
Mobilité des polluants



Essais en colonnes : sédiments soumis à différents types de remplissage du bassin

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

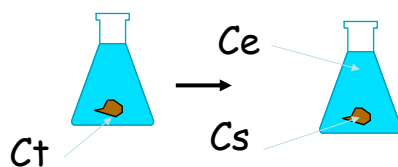
Mobilité des polluants



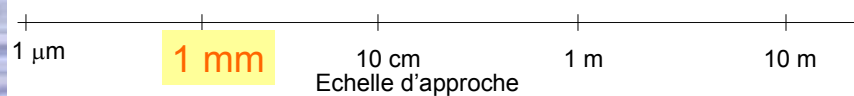
Essais en colonnes : sédiments soumis à différents types de remplissage du bassin

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

A l'échelle millimétrique

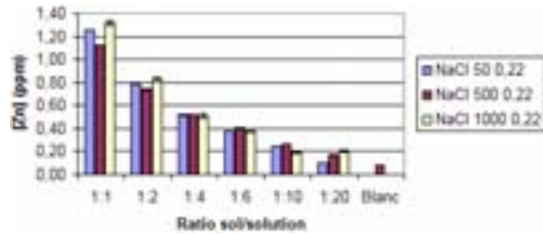


- Concentration totale des polluants,
- Dénombrement, diversité et identification des micro-organismes
- Mobilité potentielle des polluants



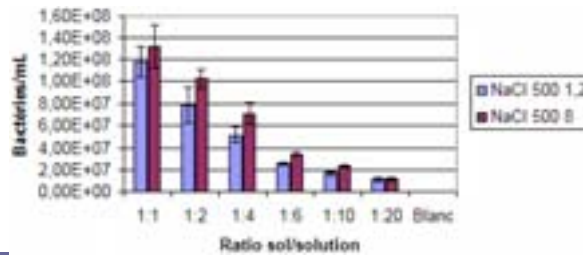
2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Mobilité potentielle des métaux et des bactéries

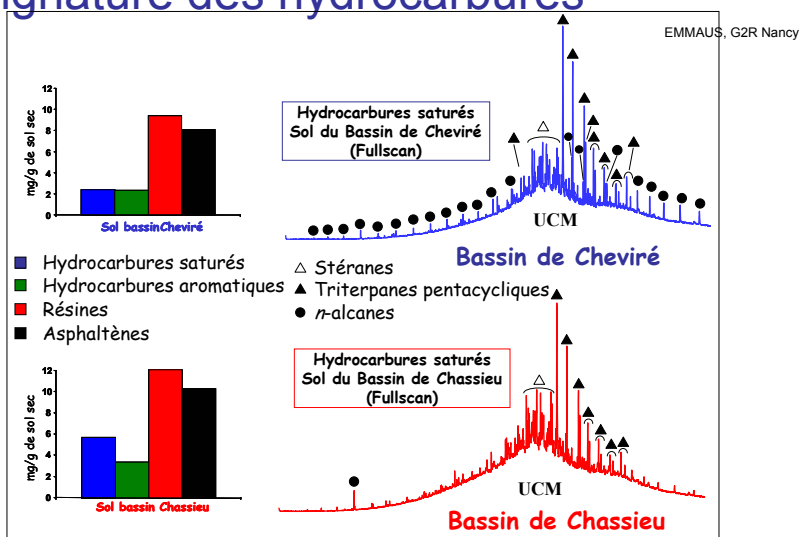


Très peu d'effet de la force ionique sur la mobilité des polluants

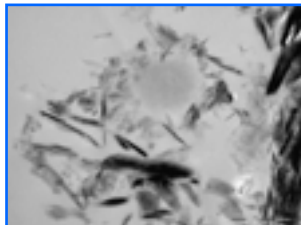
Bactéries mobiles de petites tailles



Les polluants organiques : signature des hydrocarbures



A l'échelle micrométrique



- Identifier les phases solides porteuses de polluants
- Mesurer la forme et la taille des particules minérales et organiques

1 μm

1 mm

10 cm

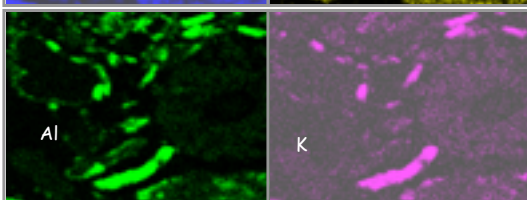
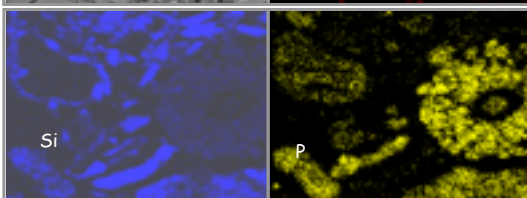
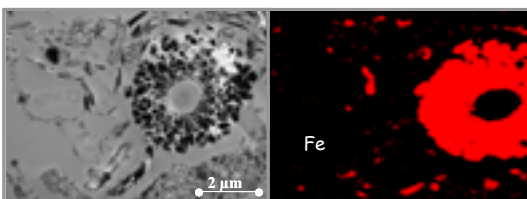
1 m

10 m

Echelle d'approche

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Mélange de particules minérales et organiques



EMMAUS, LRE Cadarache

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Une tentative de synthèse



- Modéliser le fonctionnement hydrodynamique de la surface
 - Caractérisation locale des courbes caractéristiques $K(\theta)$ et $h(\theta)$
- ↓
- Évaluation globale de la capacité d'infiltration et confrontation à la méthode de Bouwer

Quantifier les flux de polluants vers la nappe



- Approche géostatistique et mesure de terrain permet de quantifier plus globalement les quantités de polluants piégés en surface
 - Forte variabilité spatiale
 - Connaître l'histoire du site
- Connaissance des fourchettes de concentrations en polluants, et bactéries libérés par la couche de surface du bassin et évolution pendant l'élution
 - Forte charge organique mobilisée
 - Forte élution des bactéries
 - Décroissance rapide des concentrations pendant une phase d'infiltration
- Indentification des phases « à risque »
 - Phase initiale transitoire d'infiltration critique
 - Variation de salinité a peu d'influence sur la mobilité des polluants

Les perspectives



- Connaissance du fonctionnement hydrodynamique de la surface
- Quantification de la mobilité des polluants et des bactéries piégés à la surface

Décrire l'évolution de ces propriétés dans le temps



Transfert dans la zone non saturée



Décrire l'hétérogénéité de la zone non saturée

Importance de la faune aquatique sur le fonctionnement de systèmes impactés par des sédiments issus du ruissellement des eaux pluviales en milieu urbain.

F. Mermillod-Blondin, G. Nogaro - UCBL LYON I;
J-P. Bedell, A. Ohannessian - ENTPE;
F. Malard, J. Gibert – UCBL LYON I

*Publication parue sur ce thème :
MERMILLOD-BLONDIN F., NOGARO G., DATRY T., MALARD F., AND GIBERT J. (2005). Do tubificid worms influence the fate of organic matter and pollutants in stormwater sediments? Environmental Pollution, 134, 57-69.*

Importance de la faune aquatique sur le fonctionnement de systèmes impactés par des sédiments issus du ruissellement des eaux pluviales en milieu urbain

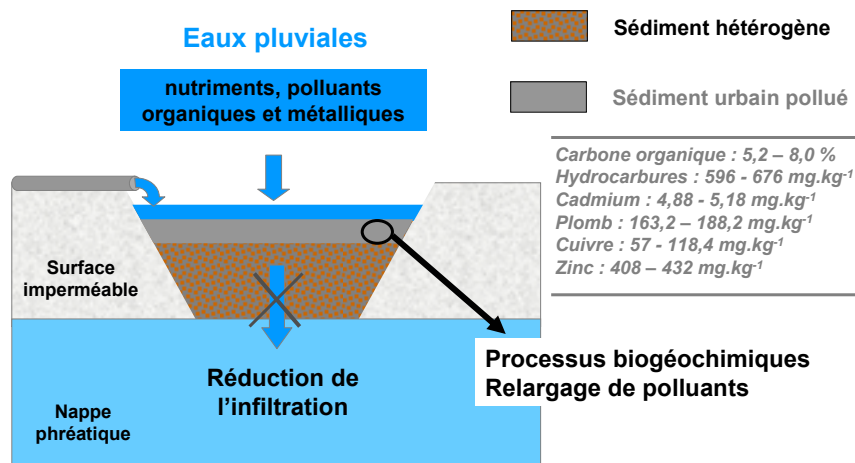
F. Mermillod-Blondin ¹, G. Nogaro ¹, J.-P. Bedell ²,
A. Ohannessian ², F. Malard ¹, J. Gibert ¹

¹ LEHF – CNRS – Université Lyon 1

² LSE – ENTPE- Vaulx en Velin

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Bassins d'infiltration : influence des sédiments apportés par les eaux pluviales



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Invertébrés et bassins de rétention et infiltration



Abondance très faible

Bassin minéral



Conditions favorables pour la faune

Bassin en eau



50 000 vers par m²

Bassin en eau



Bioturbation importante en sub-surface

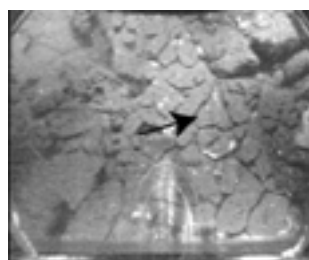
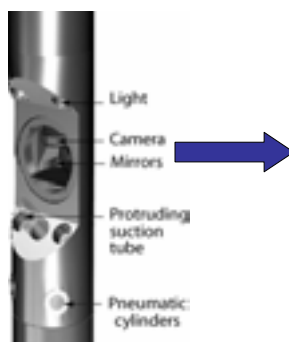
Bassin avec zone colmatée en sub-surface (en eau)

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Observation de l'activité des invertébrés



➔ Utilisation d'un système de caméra vidéo (Danielopol & Niederreiter, 1991) dans un bassin d'infiltration



Datry *et al.* (2003)

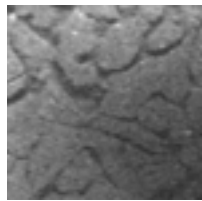
Activité importante (présence de nombreuses galeries) de vers tubificés dans les sédiments fins

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Objectif



Déterminer le rôle de l'activité des organismes dans les systèmes impactés par les sédiments urbains (en présence ou en absence de flux d'eau)



Rôle sur la dégradation de la matière organique et le devenir des polluants contenus dans les sédiments urbains

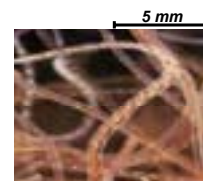
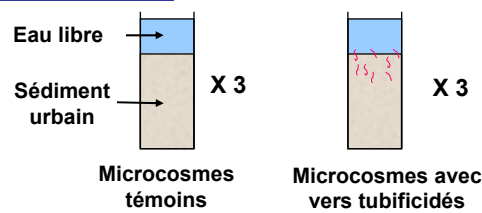


Rôle sur la perméabilité des sédiments

Méthodes : système sans flux

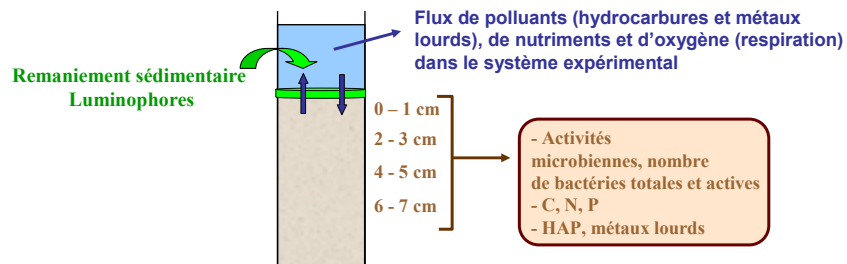


Plan expérimental

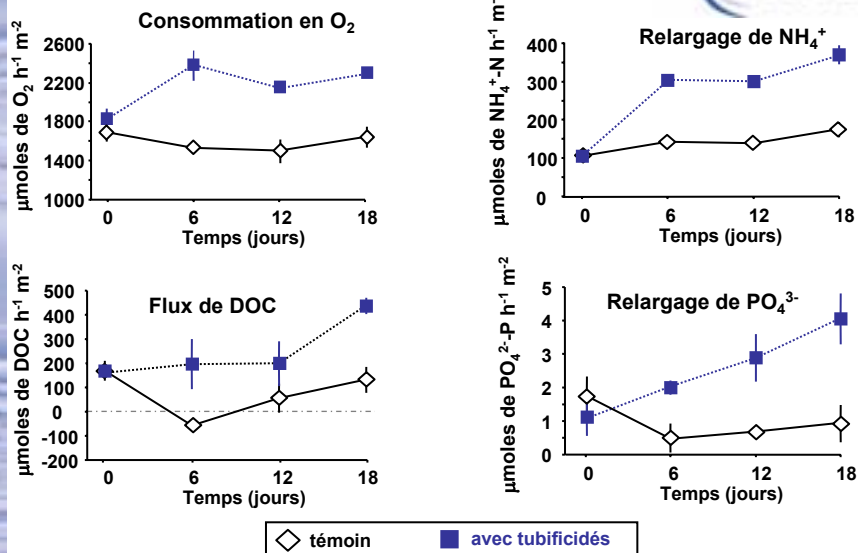


(d'après FITTER & MANUEL, 1994)

Mesures effectuées



Résultats : flux biogéochimiques



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

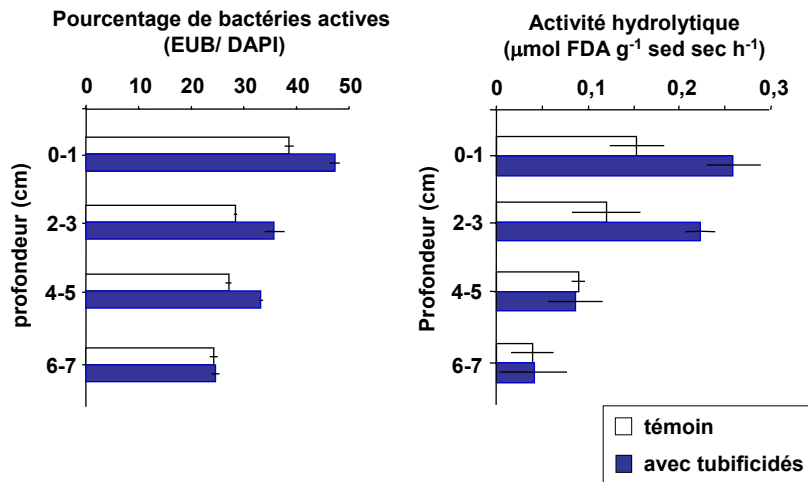
Résultats : flux de polluants



Polluants	Microcosmes témoins		Microcosmes avec tubificés	
	début	fin	début	fin
Hydrocarbures (mg l ⁻¹)	3,52 ± 2,35	< 0,01	2,12 ± 0,85	< 0,01
Cd (mg l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cr (mg l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cu (mg l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ni (mg l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Pb (mg l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Zn (mg l ⁻¹)	0,097 ± 0,006	< 0,05	0,11 ± 0,017	< 0,05

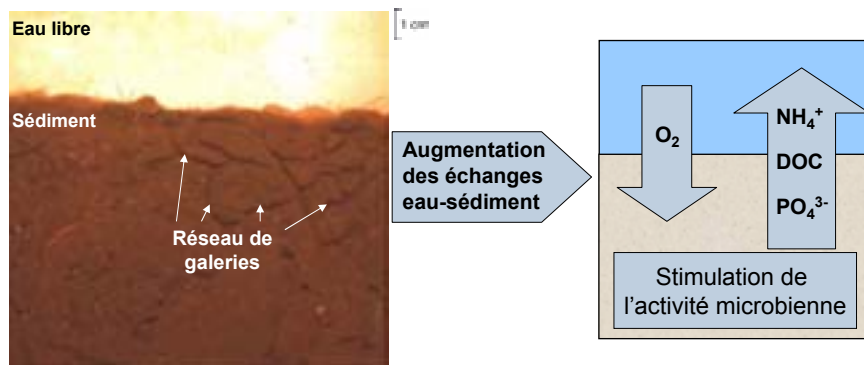
2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats : microbiologie



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Discussion : rôle des vers tubificidés à l'interface eau-sédiment



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Discussion : estimation à l'échelle d'un bassin d'infiltration

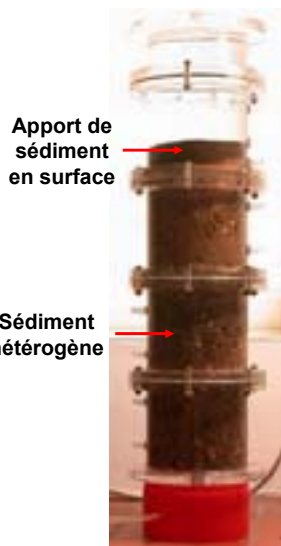


Datry *et al.* (2003) : Quantité de nutriments en solution apportés par les eaux pluviales

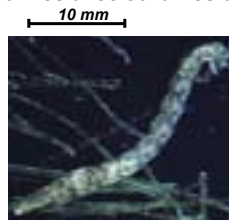
Nutriments en solution	Eau pluviale	Relargages	Contribution des vers
Carbone organique	56.1 kg	25 kg (39 %)	85 %
Azote	14.5 kg	29.2 kg (200 %)	52 %
Phosphore	1.6 kg	0.68 kg (38 %)	77 %

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Méthodes : système en infiltration



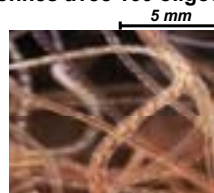
- > 3 colonnes témoins sans organisme
- > 3 colonnes avec 80 larves de chironomes



Densité = 10 200 ind./m² par colonne

(d'après FITTER & MANUEL, 1994)

- > 3 colonnes avec 160 oligochètes tubificidae

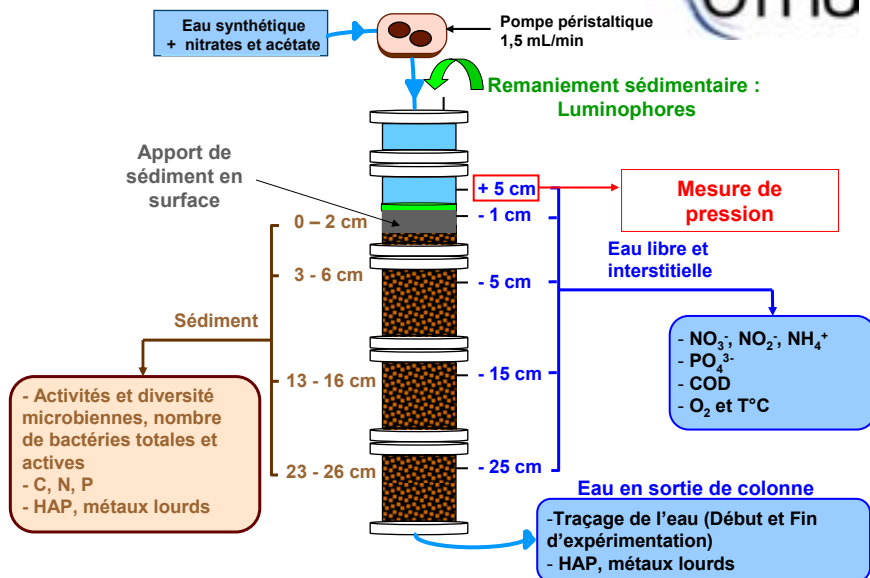


Densité = 20 400 ind./m² par colonne

(d'après FITTER & MANUEL, 1994)

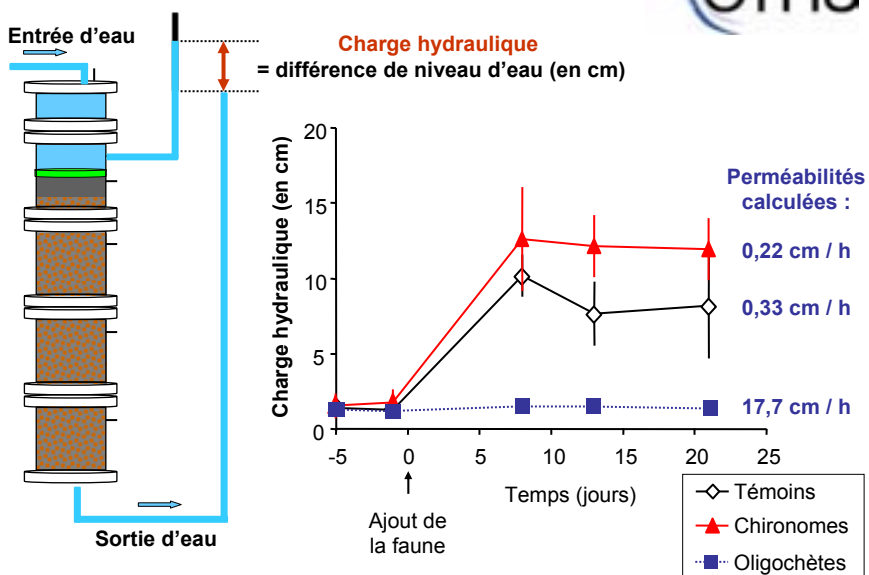
2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Méthodes : système en infiltration



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats : colmatage



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

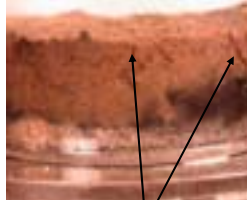
Résultats : colmatage



Colonne témoin



Colonne avec chironomes



Tubes en U produits par les larves de chironomes

Colonne avec oligochètes



Galeries produites par les vers tubificidés



REMANIEMENT SEDIMENTAIRE :

- 40 % de luminophores enfouis en profondeur par les vers contre 12 % par les chironomes
- luminophores retrouvés à 4-5 cm de profondeur avec les vers contre 2 cm avec les chironomes

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Remise en solution de polluants



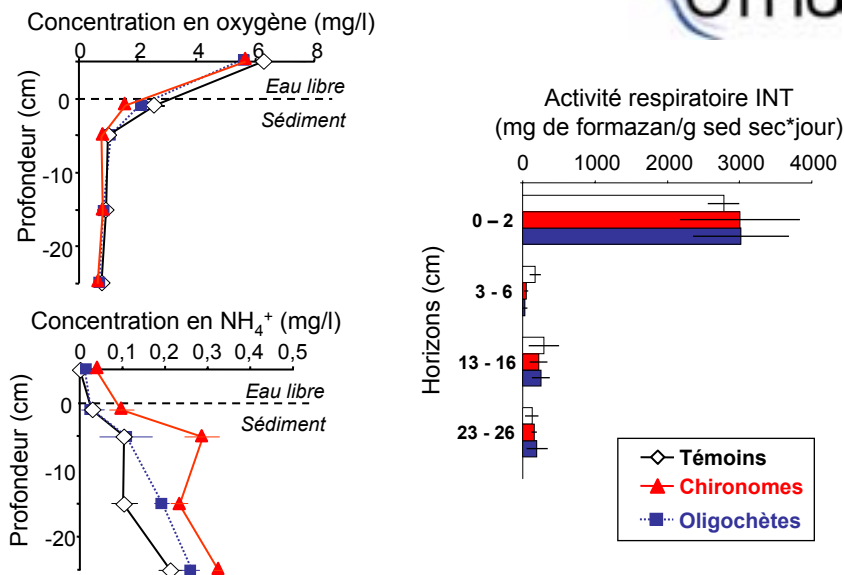
[HAP] (ng/L)	Témoins	Chironomes	Oligochètes
Naphtalène	65,7 ± 5,8	54,3 ± 16,9	57,3 ± 9,0
Acénaphène	16,3 ± 2,1	14,7 ± 1,5	16,0 ± 1,0
Fluorène	ND	3,3 ± 5,8	ND
Phénanthrène	ND	ND	ND
Anthracène	ND	ND	ND
Fluoranthène	ND	ND	ND
Benzo (b) fluoranthène	ND	ND	ND
Benzo (k) fluoranthène	ND	ND	ND
Benzo (a) pyrène	ND	ND	ND
Chrysène	ND	ND	ND
Pyrène	ND	ND	ND

ND = Non Détecté

[Métaux lourds] (mg/L)	Témoins	Chironomes	Oligochètes
Cadmium	0,018 ± 0,000	0,018 ± 0,000	0,016 ± 0,003
Plomb	0,015 ± 0,004	0,017 ± 0,001	0,013 ± 0,004
Zinc	0,002 ± 0,000	0,003 ± 0,000	ND
Cuivre	ND	ND	ND

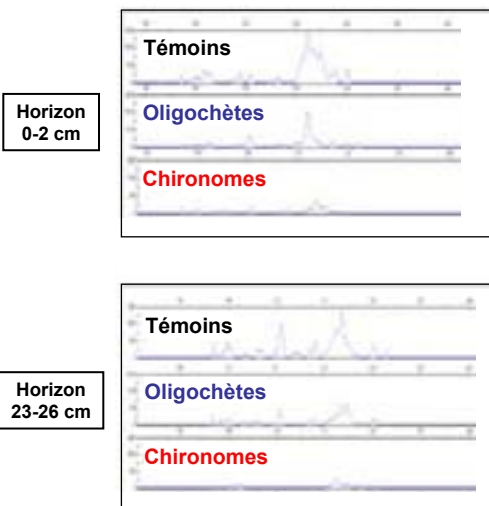
2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats : flux biogéochimiques



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Diversité microbienne : profils SSCP



Les communautés bactériennes des colonnes avec chironomes sont moins diversifiées que les autres colonnes.

Les profils au sein de l'horizon 4 indiquent une forte diversité bactérienne.

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Discussion : rôle des invertébrés



- ➔ Les invertébrés peuvent produire une stimulation de la dégradation de la matière organique accumulée dans le milieu sédimentaire.
- ➔ Les invertébrés contribuent très significativement au devenir des nutriments dans les sédiments urbains.
- ➔ Les vers tubificidés maintiennent la conductivité hydraulique du milieu sédimentaire par création de galeries traversant la couche de sédiments colmatés.
- ➔ L'action des vers tubificidés sur la perméabilité ne s'accompagne pas d'une remise en solution de métaux et d'hydrocarbures dans le système (dans nos conditions expérimentales).

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Perspectives



- ➔ Importance des invertébrés sur le colmatage dans des conditions de charge constante en eau et avec des hauteurs variables en sédiment urbain.
- ➔ Importance des invertébrés dans des conditions simulant des épisodes pluvieux.
- ➔ Travaux sur d'autres systèmes expérimentaux (ex. : rivières artificielles).

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Publication des résultats



Mermillod-Blondin F., Nogaro G., Datry T., Malard F. and Gibert J. 2005. Do tubificid worms influence the fate of organic matter and pollutants in stormwater sediments? - *Environmental Pollution* 134: 57-69.

Mermillod-Blondin F., Datry T., Nogaro G., Malard F., Bouger G. and Gibert J. 2004. Bioturbation process in sediment of a stormwater infiltration basin: effect on organic matter processing and pollutant fluxes. Graie (Ed), Sustainable techniques and strategies in urban water management. NOVATECH, 1477-1483.

Nogaro G., Mermillod-Blondin F., François-Carcaillet F., Gaudet J.-P., Lafont M. and Gibert J. Invertebrate bioturbation can reduce the clogging of sediment: an experimental study using filtration sediment columns. Soumis à *Limnology and Oceanography*.

Impact des bassins d'infiltration sur la biodiversité souterraine

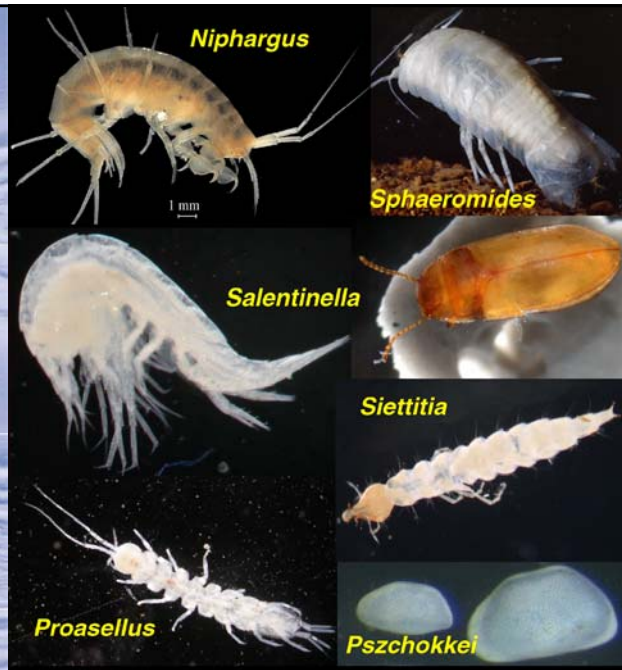
F. Malard, T. Datry, G. Bouger, J. Gibert – UCBL LYON I

*Publication parue sur ce thème :
DATRY T., MALARD F. AND GIBERT J. 2005. Response of invertebrate assemblages to increased groundwater recharge rates in a phreatic aquifer. Journal of the North American Benthological Society, 24(3), 461-477*

Impact des bassins d'infiltration sur la biodiversité souterraine

F. Malard, Datry T., Bouger G., Gibert J.
LEHF – CNRS – Université Lyon 1

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

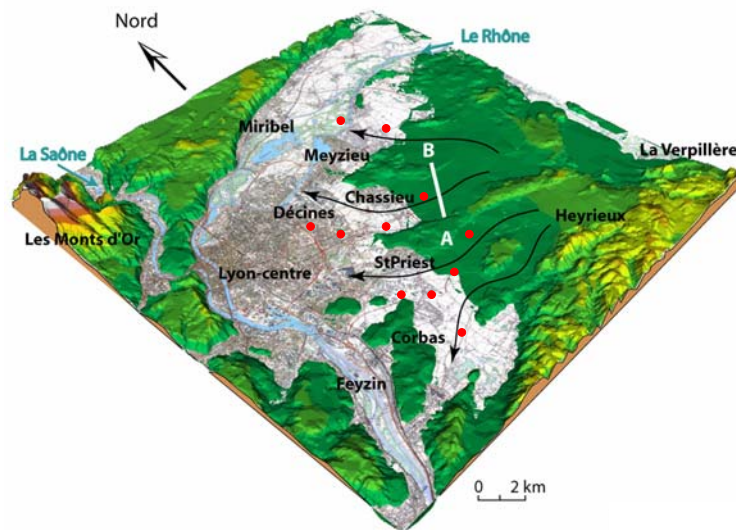


2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

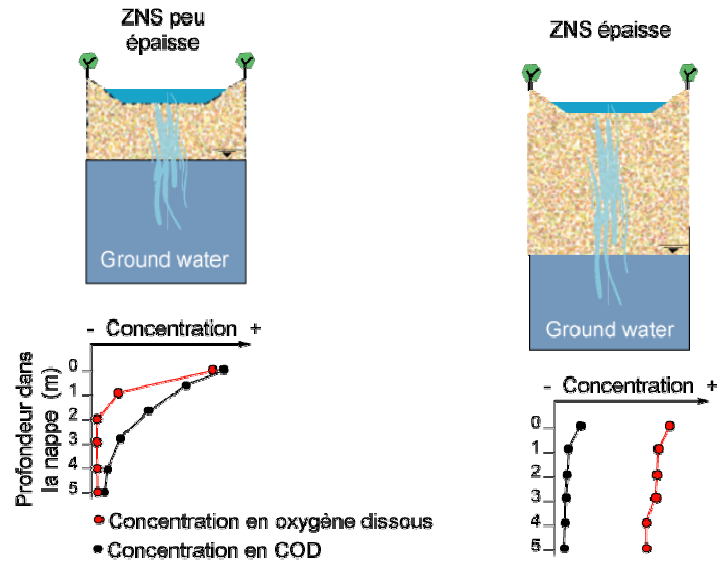
La biodiversité souterraine est contrainte par:

- ➔ La faiblesse des apports de matière organique (source de nourriture)
- ➔ Une faible hétérogénéité des habitats dans l'espace et dans le temps

Variation de la recharge



Epaisseur de la zone non saturée



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

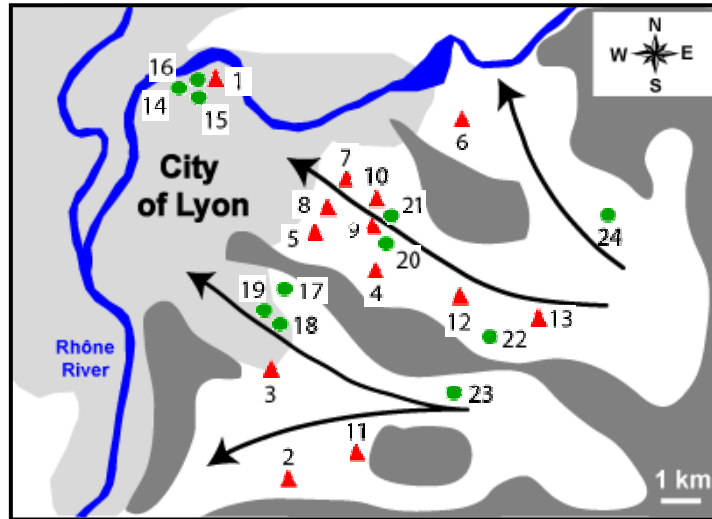
Hypothèses



- ➔ L'hétérogénéité spatio-temporelle et la concentration en DOC devraient être plus élevées sous les bassins
- ➔ Hétérogénéité spatio-temporelle et apports de DOC devraient augmenter la densité et la richesse des peuplements d'invertébrés sous les bassins.
- ➔ L'influence des bassins pourrait être modulée par l'épaisseur de la ZNS.

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Méthodes: bassins et sites de référence



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Méthodes: échantillonnage



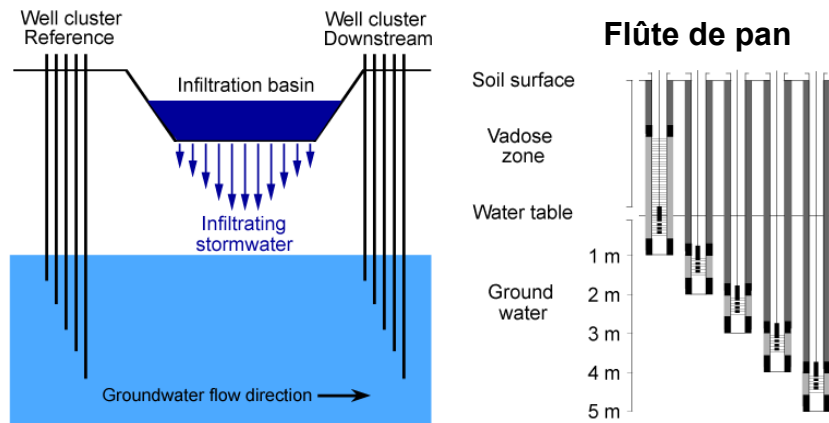
- ➔ 4 dates d'échantillonnage
- ➔ Concentrations en COD, OD, et phosphate
- ➔ Identification et énumération des invertébrés dans 50 L d'eau pompée

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Méthodes: bassins et sites de référence



Une nappe peu profonde (IUT)
 Une nappe profonde (Django)



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Méthodes: mesure de l'hétérogénéité spatio-temporelle



- Sondes multi paramètres
- Enregistrement au pas de temps horaire
- Conductivité, température, OD, pH et rédox

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Méthodes: distribution verticale de la faune dans une nappe peu profonde (IUT)



- Pompe de surface (type Bou-Rouch)

- 5 dates d'échantillonnage (2 épisodes pluvieux et 3 temps secs)

- 50 L d'eau pompée

Méthodes: analyse des données



➔ Analyses de Variance répétées à 2 facteurs et tests de Scheffé pour tester les différences de concentrations en COD, OD, phosphate et richesse et densité des peuplements d'invertébrés entre les bassins et les sites de références.

➔ Plan de l'analyse de variance:

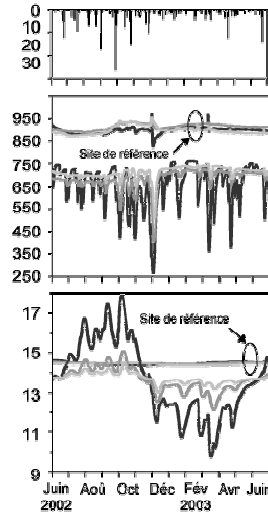
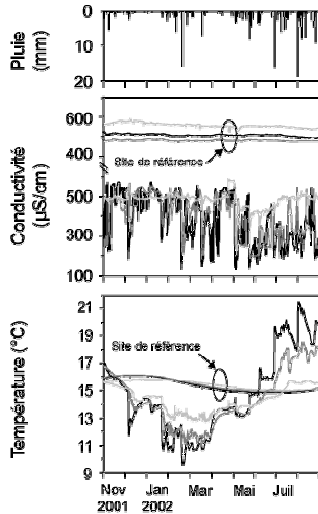
- Facteur site à 2 modalités (i.e. bassins versus sites de référence)
- Facteur épaisseur de la ZNS à 2 modalités (> or < 10 m)
- Facteur répété: 4 dates d'échantillonnage

Résultats: hétérogénéité spatio-temporelle



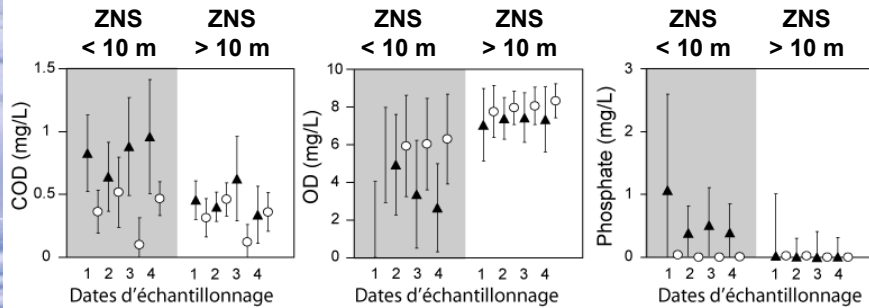
Nappe peu profonde (IUT)

Nappe profonde (Django)



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

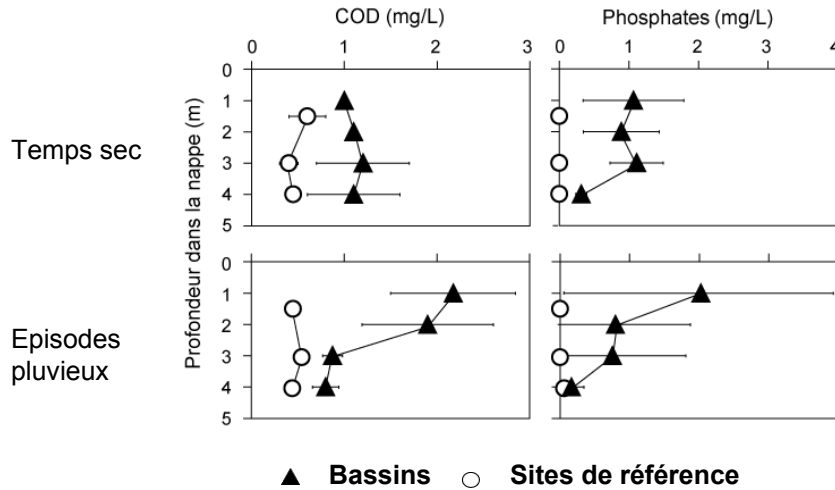
Résultats: différences de concentrations en COD, OD, et phosphates entre bassins et sites de références



- ▲ Bassins
- Sites de référence

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats: distribution verticale du COD et des phosphates dans une nappe peu profonde (IUT)



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

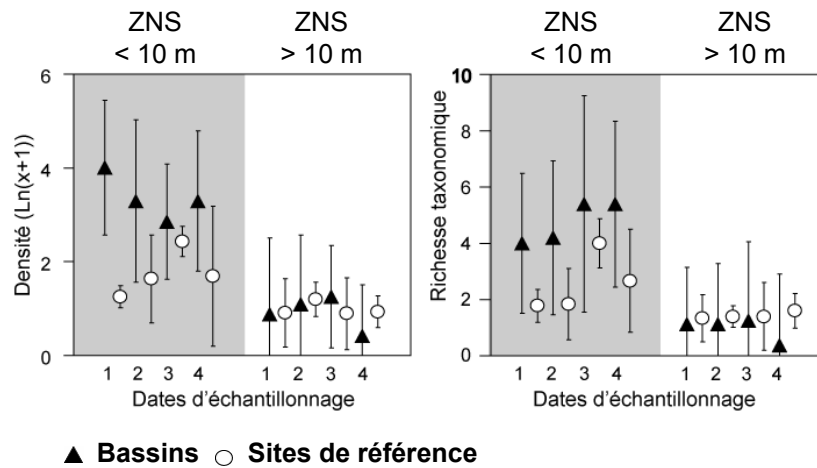
Résultats: biodiversité dans la nappe



Taxons	Densité		Fréquence d'apparition (%)
	Moy.	Gamme	
Amphipoda			
<i>Niphargus renei</i> Karaman, 1986	0.6	0-20	10.9
<i>Niphargus pachypus</i> Schellenberg, 1933	0.2	0-16	3.2
<i>Niphargus kochianus</i> Bate, 1859	0.1	0-6	3.1
<i>Niphargus fontanus</i> Bate, 1859	0.2	0-9	4.6
<i>Niphargopsis casparyi</i> (Pratz, 1866)	0.1	0-6	5.5
<i>Crangonyx subterraneanus</i> Bate, 1859	< 0.1	0-6	0.8
<i>Salentinella juberthiae</i> Coineau, 1968	7.4	0-176	30.5
<i>Salentinella lescherae</i> Coineau, 1968	< 0.1	0-3	4.7
<i>Salentinella delamarei</i> Coineau, 1962	0.1	0-5	3.9
Syncarida			
<i>Bathynellidae</i> sp.	0.2	0-6	5.5
Cyclopoida			
<i>Macrocyclops albidus</i> (Jurine, 1820)	0.2	0-9	6.2
<i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer, 1851)	0.8	0-24	7.8
<i>Paracyclops fimbriatus</i> (Fischer, 1853)	< 0.1	0-6	2.9
<i>Acanthocyclops robustus</i> (Sars, 1863)	2.3	0-57	17.2
<i>Acanthocyclops venustus</i> (Norman & Scott, 1906)	4.2	0-195	15.6
<i>Acanthocyclops sensitivus</i> (Graeter & Chappuis, 1914)	0.1	0-4	5.1
<i>Acanthocyclops rhenanus</i> Kiefer, 1936	0.4	0-6	11.7
<i>Diacyclops languidus</i> (Sars 1863)	1.3	0-75	8.6
<i>Diacyclops languidoides</i> ssp.	0.4	0-16	7.8
<i>Diacyclops zschokkei</i> (Graeter, 1910)	1.7	0-75	7.8
Harpacticoida			
<i>Parastenocaris</i> sp.	0.6	0-16	22.6
<i>Harpacticoida</i> sp.	< 0.1	0-1	1.4
Isopoda			
<i>Microcharon reginae</i> Dole & Coineau, 1987	0.4	0-12	9.4
Asellidae			
<i>Proasellus walteri</i> (Chappuis, 1948)	1.7	0-188	5.1
Ostracoda			
<i>Pseudocandona zschokkei</i> (Wolf, 1920)	11.3	0-800	12.9
<i>Cryptocandona kieferi</i> (Klie, 1938)	0.8	0-40	6.2
<i>Pseudocandona albicans</i> (Brady, 1864)	0.5	0-40	6.2
Oligochaeta	1.7	0-50	35.9

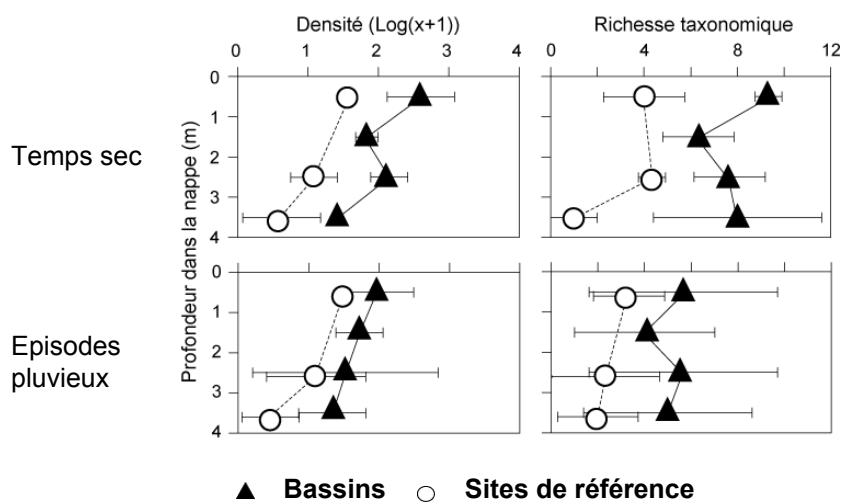
2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats: différences de densité et richesse taxonomique entre bassins et sites de références



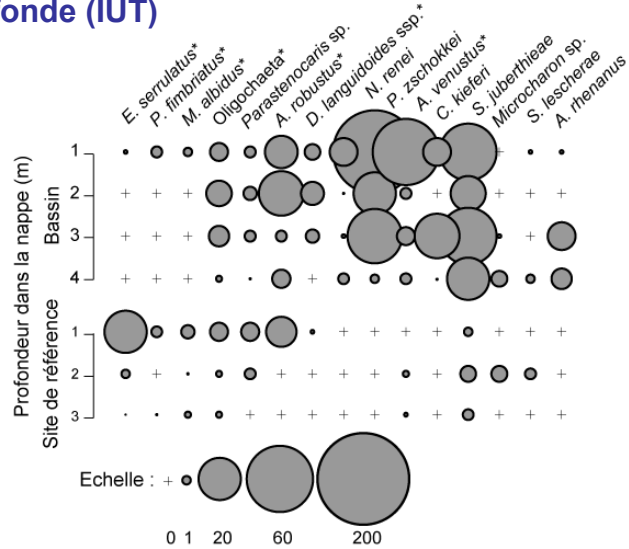
2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats: distribution verticale de la densité et de la richesse taxonomique dans une nappe peu profonde (IUT)



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats: changement vertical de la composition faunistique dans une nappe peu profonde (IUT)



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Discussion: influence de l'infiltration



- ➔ Augmente les apports de COD
- ➔ Apports de COD modulés par l'épaisseur de la ZNS
- ➔ Augmente l'hétérogénéité spatio-temporelle
- ➔ L'hétérogénéité est peu sensible à l'augmentation de l'épaisseur de la ZNS
- ➔ Densité et richesse sont plus élevées sous les bassins quand l'épaisseur de la ZNS < 10 m
- ➔ Pas de changement de densité et de richesse quand l'épaisseur de la ZNS > 10 m
- ➔ L'apport de matière organique est la principale contrainte régulant la composition des peuplements

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Discussion: distribution verticale de la faune



- ➔ La densité diminue avec la profondeur dans la nappe. Il n'y a pas de gradient vertical de richesse.
- ➔ Les invertébrés ont tendance à développer des populations abondantes dans les niveaux riches en matière organique situés à proximité des sites superficiels de production.
- ➔ Changement vertical de la composition en espèce avec la profondeur dans la nappe.
- ➔ Résultats des interactions biotiques: certains taxons moins compétitifs sont relégués dans les niveaux inférieurs de la nappe les plus pauvres en matière organique.

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Publication des résultats



Datry T., Malard F. and Gibert J. 2005. Response of invertebrate assemblages to increased groundwater recharge rates in a phreatic aquifer. *Journal of the North American Benthological Society* **24**: 461-477.





2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Construire des indicateurs de performances pour la conception et la gestion de stratégies d'infiltration : Quelques éléments méthodologiques

S. Barraud, P. Macedo Moura – INSA de Lyon;
Y. Perrodin – ENTPE ;
F. Malard – UCBL LYON I

Résultats de recherche et données acquises




Construire des indicateurs de performances pour la conception et la gestion de stratégies d'infiltration. Quelques éléments méthodologiques

Barraud S., Moura P., Malard F., Perrodin Y.

URGC - INSA Lyon
HBES – Univ. Lyon I (UMR CNRS 5023)
Laboratoire des Sciences de l'Environnement - ENTPE

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats de recherche et données acquises



Problème

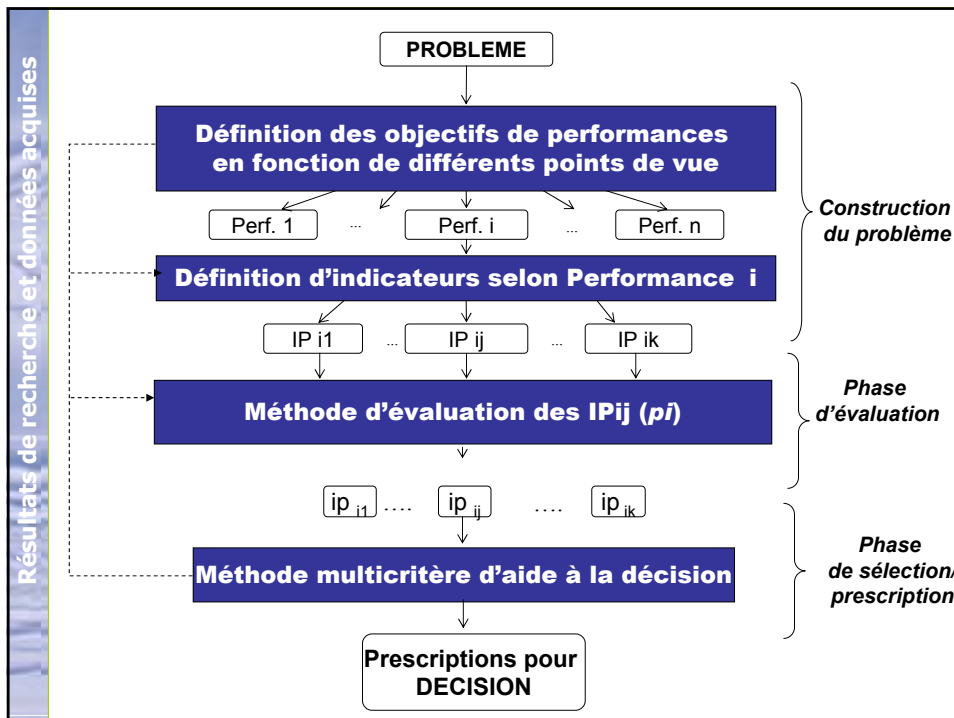
- Objectif
 - **Evaluer** un ouvrage, une situation, un aménagement à un moment donné ;
 - **Suivre** dans le temps un ouvrage, une situation, un aménagement (comparaison à différentes phases de la vie) ;
 - **Comparer** des variantes
 - de projets (en conception) ;
 - d'actions de gestion sur un ouvrage ou un aménagement ;
 - d'actions sur la structure d'un ouvrage ou d'un aménagement.

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Belle complexité ...



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

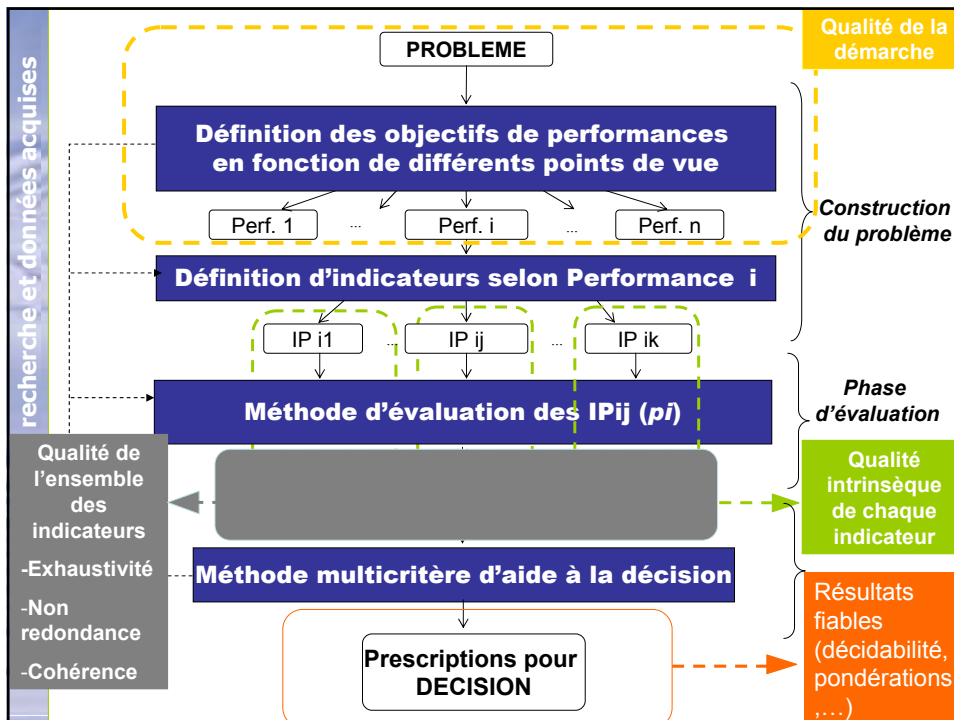


Pourquoi le recours aux méthodes multicritères



- Chaque point de vue est estimé selon le système d'évaluation qui est le plus approprié
 - En fonction des métriques les plus adaptées et les plus parlantes
 - En fonction du niveau d'informations disponibles
- Aucune nécessité a priori à agréger comme en monocritère
 - Agrégation forcée et peu pertinente
 - Biais numérique important
 - Effet compensatoire
 - Sensible à la normalisation

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon



Qualité de la démarche



- Démarche
 - Groupe de travail
 - URGC
 - LSE
 - HBES
 - LAEPSI
 - EDU
 - GRAIE
 - Direction du Grand Lyon
 - Exploitation / BE/ cellule DD

Etat des performances



Performances techniques et hydrauliques

- | |
|---|
| 1. Ne pas inonder gravement et trop souvent |
| 3. Contribuer à la recharge des nappes |
| 7. Apt. de la stratégie à retenir la pollution |
| 8. Apt. à être maintenable par l'organisation |
| 9. Ne pas compromettre le fonct. d'autres syst. |

Performances environnementales et sanitaires

- | |
|--|
| 2. Permettre un bon état de la nappe |
| 4. Ne pas épuiser les ressources naturelles |
| 5. Ne pas polluer l'air (pollution, odeur, ...) |
| 6. Ne pas polluer le sol en profondeur |
| 10. -11. Ne pas compromettre la santé et sécurité des usagers / personnels |
| 17. Apt. à produire des déchets gérables |

Performances socio-économiques

- | |
|---|
| 12. Avoir un coût acceptable |
| 13. Favoriser le développement |
| 14. Apt. à être adaptable à l'évolution des besoins |
| 15. Apt. à assurer d'autres fonctions |
| 16. Acceptabilité sociale d'un scénario |

$$IP3 = V_{inf} / V_{plu}$$

Qualité intrinsèque de chaque indicateur ?

Qualité intrinsèque des indicateurs



- **Listes de qualités requises**
 - [Personne \(1998\)](#)
 - [Labouze et al.\(1995\)](#)
 - [Projet Pastille \(2002\)](#)
 - [Principes de Bellagio \(1996\)](#)
 - [Hart check list \(1999\)](#)
- **Analyse a posteriori des erreurs courantes**
 - [Perrin \(1998\)](#)
 - [Riley \(2001\)](#)

- Accessibilité : calculable à un coût acceptable
- Fidélité : conservation d'un biais éventuel constant
- Objectivité : calculable sans ambiguïté à partir des grandeurs observables
- Pertinence : capacité à refléter correctement un phénomène et garder sa signification dans le temps
- Précision / robustesse : marge d'erreur acceptable visant une tendance fiable
- Sensibilité : aptitude à discriminer
- Univocité : variation de l'indicateur de façon monotone par rapport au phénomène décrit pour pouvoir interpréter ses variations sans équivoque

Application aux indicateurs développés pour l'infiltration

Réponse apportée



- **Problèmes rencontrés**
 - Problème de pertinence/accessibilité
 - Problème d'objectivité
 - Problème de robustesse
 - Problème de sensibilité

Problème de pertinence & d'objectivité



- **Pertinence/accessibilité**
 - Indicateurs pertinents en conception mais pas en suivi ou l'inverse
 - Ex : IP6-1 profondeur à laquelle la pollution du sol redevient faible
- **Objectivité**
 - Indicateur inadapté
 - Ex : Aptitude à être gérable et maintenable facilement

$$PI8 = PI8_1 \times \frac{2}{3} PI8_2 \times PI8_3$$

- IP8-1 : accessibilité
- IP8-2 : spécificité du matériel et des techniques
- IP8-3 : controlabilité

Problème de robustesse



- Exemple 2 : Permettre un bon état de la nappe
 - Formulation initiale (suivi - conception)

$$I_{pol} = \frac{1}{p} \times \sum_{k=1}^p (I_{pol}^k)^2$$

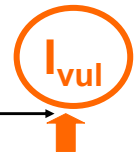
I_{pol}^k = Masse de polluant k apporté au système / masse acceptable



Problème de robustesse



- Exemple 2 : Permettre un bon état de la nappe
 - Formulation initiale (suivi - conception)



$$I_{vul} = 1 - \frac{r \times t \times zn \times s_y}{r_{max} \times t_{max} \times zn_{max} \times s_{max}}$$

Caractéristiques de la nappe :

- Potentiel de recharge naturelle
- Transmissivité,
- Porosité
- Epaisseur de la zone non saturée

I_{pol}

Problème de robustesse



- Exemple 2 : Permettre un bon état de la nappe
 - Formulation initiale (suivi - conception)

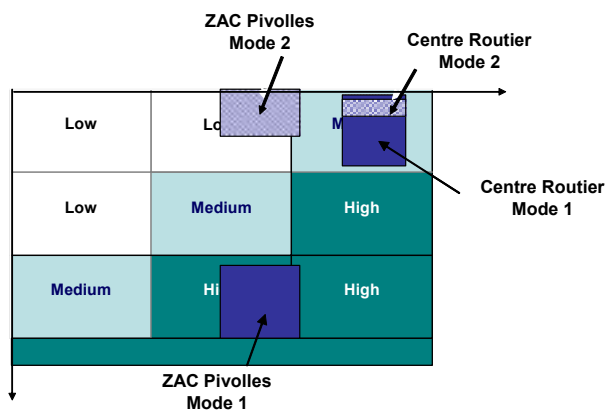
	I_{vul}		
	Low	Low	Medium
	Low	Medium	High
	Medium	High	High
I_{pol}	High		

Attention aux définitions par seuils !

Problème de robustesse



- Exemple 2 : Permettre un bon état de la nappe



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Problème de robustesse



- Exemple 2 : Permettre un bon état de la nappe
 - Formulation Version 2 (suivi) – expertise à partir des observations

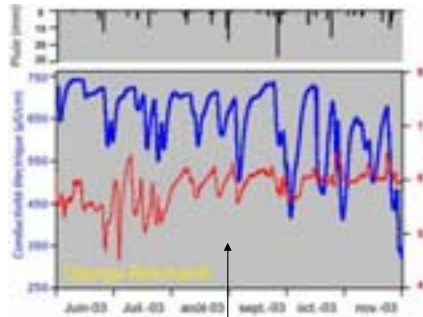
IP2= 0/1

0 : présente une anomalie, nécessité d'étude plus approfondie

Si la conductivité ne diminue pas ou augmente ou
 Si la concentration en O2 dissous (dans le cas d'une nappe sous saturée en O2) n'augmente pas ou
 Si elle baisse dans une nappe saturée en O2

1 : ne présente a priori pas d'anomalies dans les cas contraires

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon



Les épisodes pluvieux induisent une baisse de Conductivité et pas de diminution significative de l'O2 dissous

IP2=1

Problème de sensibilité



- Exemple : Aptitude à retenir la pollution en surface
 - Formulation initiale (suivi)
 - IP6-1 : profondeur à laquelle la teneur en polluant devient celle d'un sol de référence
 - IP6-2 : importance de la pollution des couches présentant une pollution

Problème de sensibilité



	Droit de l'Homme	Centre Routier	ZAC Chêne	ZAC Pivolles
PI6 ₁	>90 cm	>90 cm	>90 cm	>90 cm
PI6 ₂	3.6	2.3	3.8	2.29
PI'6 ₁	40-45 cm	30-40cm	30-35cm	>90cm
PI'6 ₂	33%	30%	44%	22%

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Bilan de l'analyse de qualité intrinsèque des indicateurs



- Mise au point d'une méthode de test efficace qui permet d'évoluer vers des indicateurs meilleurs
- Révélatrice
 - De connaissances et des outils encore insuffisants pour représenter le comportement des systèmes (surtout en mode prédiction)
 - De connaissances insuffisantes (acceptabilité / déchets produits)
 - De problèmes « évacués » par ex. sur la santé

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Perspectives



- Elaborer des indicateurs manquants sur les performances socio-économiques, relatives à la « gérabilité » des déchets
- Améliorer les indicateurs existants
- Examiner la qualité des indicateurs pris ensemble
 - Non redondances
- Examiner rapidement si en l'état des informations (incertitudes) les problèmes restent décidables

Performances techniques et hydrauliques

1. Ne pas inonder gravement et trop souvent	✓✓
3. Contribuer à la recharge des nappes	✓✓
7. Apt. de la stratégie à retenir la pollution	✓
8. Apt. à être maintenable par l'organisation	▪
9. Ne pas compromettre le fonct. d'autres syst.	

Performances environnementales et sanitaires

2. Permettre un bon état de la nappe	✓
4. Ne pas épuiser les ressources naturelles	
5. Ne pas polluer l'air (pollution, odeur, ...)	✓
6. Ne pas polluer le sol en profondeur	✓
10. -11. Ne pas compromettre la santé et sécurité des usagers / personnels	✓
17. Apt. à produire des déchets gérables	

Performances socio-économiques

12. Avoir un coût acceptable	✓
13. Favoriser le développement	▪
14. Apt. à être adaptable à l'évolution des besoins	▪
15. Apt. à assurer d'autres fonctions	▪
16. Acceptabilité sociale d'un scénario	▪

→ Thèse de P. Moura

Par exemple : somme pondérée ...



	Critères	
	C1	C2
Action a1	9	30
Action a2	1	80
Poids	0,4	0,6

	C1'	C2'	Normalisation par rapport au maximum
	Action a1	1	
Action a2	0,11	1	0,644

→ a2

	C1''	C2''	Normalisation par rapport à la somme
	Action a1	0,9	
Action a2	0,1	0,73	0,476

→ a1

Qualité intrinsèque des indicateurs



- **Listes de qualités requises**

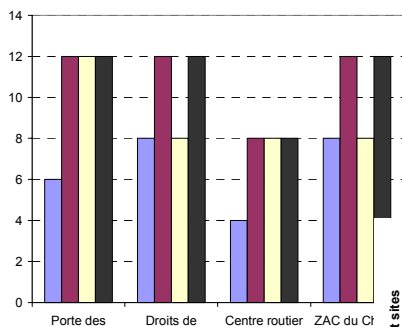
- Personne (1998)
- Labouze *et al.* (1995)
- Projet Pastille (2002)
- Principes de Bellagio (1996)
- Hart check list (1999)

- **Analyse a posteriori des erreurs courantes**

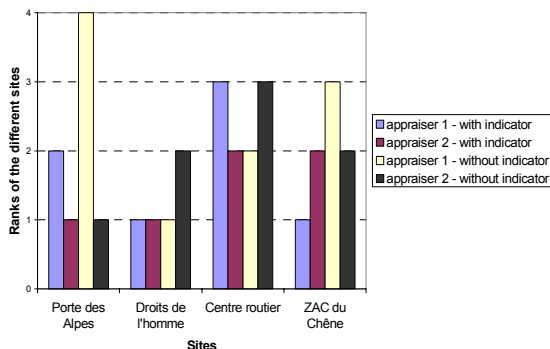
- Perrin (1998)
- Riley (2001)

- Déplacement d'objectifs
Réduction des coûts énergétiques caractérisant le système étudié mais augmentation d'un coût social qui ne faisait pas partie du système (illusion d'amélioration)
- Non pérennité des préférences
(piégeage de la pollution considéré comme un +, évolution conduisant à le considérer comme -)
- Nombre d'indicateurs trop nombreux
difficulté d'interprétation
Acquisition de données inutiles
perte de lisibilité
confusion entre descripteurs / indicateurs
- Agrégation inadaptée ou abusive
moyenne augmente > tendance meilleure ?
- Tendance à l'optimisation de l'indicateur et non au phénomène que l'on veut évaluer

Problème d'objectivité



Version 2
Sociologue : enquête *in situ*
Reformulation à venir...



Problème de sensibilité



	Droit de l'Homme	Centre Routier	ZAC Chêne	ZAC Pivolles
PI6-1	> 90 cm	> 90 cm	> 90 cm	> 90 cm
PI6-2	3.6	2.3	3.8	2.29

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Problème de sensibilité



- Exemple : Aptitude à retenir la pollution en surface
 - Formulation initiale (suivi)

- IP6-1 : profondeur à laquelle on ne trouve plus de pollution

$$PI6_1 = z_{lim} / \left[\begin{array}{l} \forall z > z_{lim} \\ \forall k \end{array} \Rightarrow C^k(z) < C_{ref}^k \right]$$

- IP6-2 : importance de la pollution des couches présentant une pollution

$$PI6_2 = \left[\frac{C^k}{C_{ref}^k} \right]_k$$

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Problème de sensibilité



- Exemple : Aptitude à retenir la pollution en surface

- Formulation Version 2 (suivi)

- IP6-1 : profondeur à laquelle le sol atteint une pollution faible (K1 proche de 0)
 - IP6-2 : pourcentage d'échantillons présentant une pollution importante (K2>0)

$$K_1 = \frac{\sum_{C^k \leq C_{DSi}} w_k}{\sum w_k}$$

$$K_2 = \frac{\sum_{C^k \geq C_{DSi}} w_k}{\sum w_k}$$

Problème de sensibilité



- Exemple : Aptitude à retenir la pollution en surface

- Formulation Version 2 (suivi)

- IP6-1 : profondeur à laquelle le sol atteint une pollution faible (K1 proche de 0)
 - IP6-2 : pourcentage d'échantillons présentant une pollution importante (K2>0)

$$K_1 = \frac{\sum_{C^k \leq C_{DSi}} w_k}{\sum w_k}$$

$$K_2 = \frac{\sum_{C^k \geq C_{DSi}} w_k}{\sum w_k}$$

Poids de toxicité

Normes Hollandaises !!!

Problème de sensibilité



- Exemple : Aptitude à retenir la pollution en surface

- Formulation Version 3 (suivi)

- Test des poids de toxicité

- AEP
- Metox (poids toxicité des Mx attribués par les Ag. Eau pour redevances)
- Unitaires

Pas de changement des tendances

- Test des seuils

- CNHi remplacées par les seuils français (val. de déf. de source-sol (VDSS) permettant des limites à partir desquelles le sol est considéré comme source de pollution mais sans prise en compte du type de sol Plus contraignantes sauf pour Zn et HAP

Pas de changement des tendances

- CNHc remplacées par les valeurs de sol de référence

Problème de sensibilité à nouveau

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Problème de robustesse



- Exemple 1 : Avoir un coût acceptable

- Formulation initiale (conception)

$$IP12 = \frac{C_{inv} + D \times C_{maint} + C_{etude}}{V_s}$$

C_{inv} : coût d'investissement

C_{maint j} : coût annuel actualisé dépendant du mode de gestion

D : durée de vie ou durée de référence estimée

V_s : volume utile de stockage

Très sensible et très incertaine !

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Problème de robustesse



- Exemple 1 : Avoir un coût acceptable
 - **Formulation Version 2 (conception)**

$$\text{IP12-1} = \frac{C_{\text{inv}} + C_{\text{etude}}}{V_s}$$

$$\text{IP12-2} = \frac{C_{\text{maint}}}{V_s}$$

C_{inv} : coût d'investissement

C_{maint j} : coût annuel actualisé dépendant du mode de gestion

V_s : volume utile de stockage

Impacts hydrologiques, morphodynamiques et écologiques de l'urbanisation sur les petites rivières : développements méthodologiques et premiers résultats.

P. Breil, M. Lafont, P. Namour - Cemagref de Lyon;
B. Chocat - INSA de Lyon;
L. Schmidt, L. Grosprêtre - Université Lyon II

Impacts hydrologiques, morphodynamiques et écologiques de l'urbanisation sur les petites rivières :



Développements méthodologiques et premiers résultats

*P.BREIL^{A1}, L. SCHMITT^B, B. CHOCAT^C, M. LAFONT^{A2}, Ph. NAMOUR^{A3}, J.F. PERRIN^{A1}
Thésards : R.GNOUMA^{A1}, A.VIVIER^{A2}, F.RUYSSCHAERT^{A1}, L. Grosprêtre^B
Métrologues : F. Thollet^{A1}, M. Lagouy^{A1}, T. Fournier^{A1}*

^A CEMAGREF, Unités de recherche
Hydrologie-hydraulique^{A1},
Biologie des écosystèmes aquatiques^{A2},
Qualité et Prévention des Pollution des eaux^{A3}

^B UMR 5600 CNRS 5, Université Lumière Lyon2 - Faculté de Géographie
Laboratoire Ville Environnement Société

^C INSA LYON, URGC / Bat Coulomb 69621 Villeurbanne CEDEX
Unité de recherche en Génie Civil, lab. Hydrologie Urbaine

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

La problématique de l'impact des rutp dans les petites rivières



- Le développement urbain en 2030 (UN, 2003) :
 - 60% de la population mondiale
 - 80% de la population des pays développés
- Saturation des réseaux d'assainissement centraux
 - Logique de STEP unique
- Rejets dans le milieu récepteur
 - RUTP = X 1 à X 10 débit naturel
- Loi sur l'Eau « auto-surveillance des SA »
- DCE – objectif de bon état écologique en 2015

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Approche de l'impact écologique des rutp sur les rivières

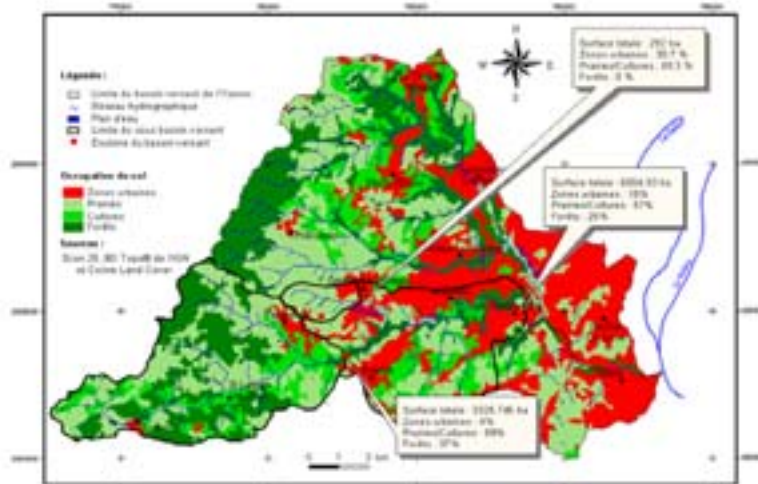


Le système « Formes-Flux-Biocénoses » en rivière

- ✓ L'état des biocénoses est conditionné par les flux d'énergie et de pollution
- ✓ Les formes géomorphologiques (répétitives) déterminent la capacité de circulation des flux dans le substrat (espace)
- ✓ La variabilité hydrologique génère les flux hydriques (temps)
- ❖ Cerner les constantes de temps et d'espace des biocénoses en rivière
- ❖ Analyser la diversité des combinaisons de formes / flux à l'échelle du bassin de gestion
- ❖ Développer des métriques FFB sur site expérimental
- ❖ Valider métriques sur site opérationnel
- ❖ Généraliser au bassin versant (transfert d'échelle)

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

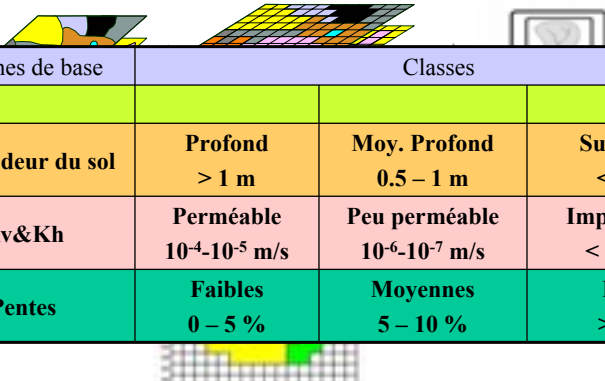
Le dispositif de l'OTHU site expérimental et opérationnel



R. Gnouma, Cemagref

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Cartographie des flux à l'échelle du bassin de l'Yzeron: Méthode

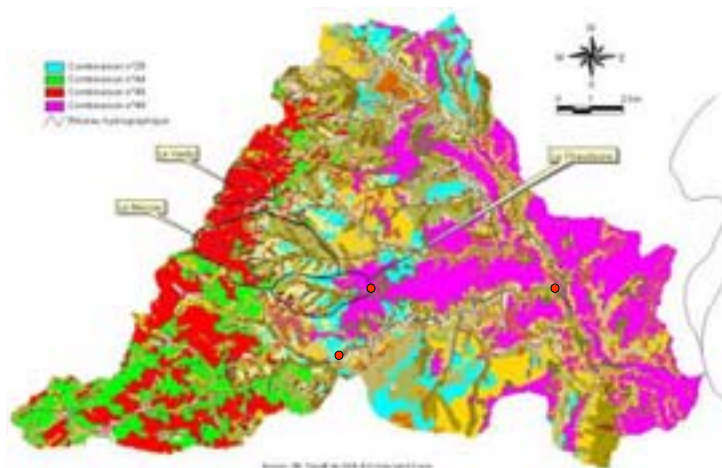



Couches de base	Classes		
Profondeur du sol	Profond > 1 m	Moy. Profond 0.5 – 1 m	Superficiel < 0.5 m
Kv&Kh	Perméable 10⁻⁴-10⁻⁵ m/s	Peu perméable 10⁻⁶-10⁻⁷ m/s	Imperméable < 10⁻⁸ m/s
Pentes	Faibles 0 – 5 %	Moyennes 5 – 10 %	Fortes > 10 %

R. Gnouma, Cemagref

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Cartographie des flux à l'échelle du bassin de l'Yzeron: Résultat



R. Gnouma, Cemagref

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

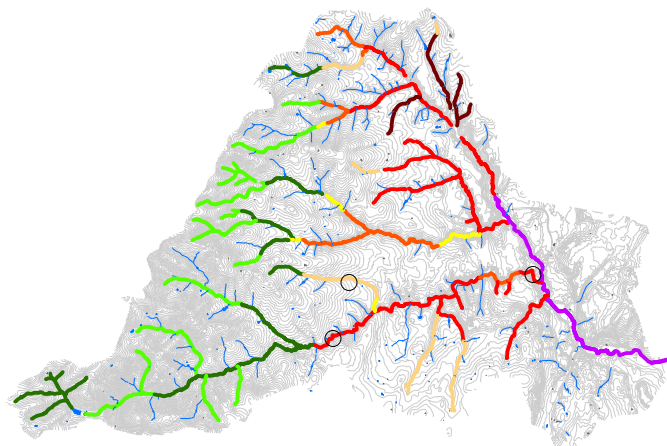
Cartographie des formes à l'échelle du bassin de l'Yzeron: Méthode



- Une typologie hydro-géomorphologique: pourquoi ?
 - ↗ Localisation des sites de prélèvements physico-chimiques et biologiques sur les cours d'eau
 - ↗ Transfert d'échelle
- Méthodologie (Schmitt, 2001)
 - ↗ Découpage du BV en unités hydro-géomorphologiques homogènes + validation
 - ↗ Sectorisation des cours d'eau à partir de variables de contrôle (SIG, cartes)
 - Unités hydro-géomorphologiques homogènes
 - Morphologie du fond de vallée
 - Pente du corridor fluvial
 - Héritages géomorphologiques
 - ↗ Regroupement par expertise des secteurs => typologie
- ↗ Validation à partir de variables de réponse (terrain) et d'analyses stat. multivariées
 - + caractérisation morphodynamique des types et intégration dans un SIG

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Cartographie des formes à l'échelle du bassin de l'Yzeron: Résultat



iv. Lyon2

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Cartographie des formes à l'échelle du bassin de l'Yzeron: Validation terrain



Type III
Cours d'eau à énergie modérée et à fond de vallée encaissé et large de la bordure orientale du plateau lyonnais

Description générale
Les cours d'eau de type III présentent l'unité naturelle de plateau lyonnais recouvert de collines. Le fond de vallée est encaissé et large, ce qui entraîne une érosion latérale active. L'incision de vallées est variable selon les sections. La charge sédimentaire, essentiellement latérale, est constituée de galets, graviers, sables et limons. Les unités morphodynamiques s'organisent en séquences successives, associées à des plans, voire localement des rapides. Le relief est marqué.

Données qualitatives
Unité naturelle: plateau lyonnais recouvert de collines recouvertes de collines
Type de fond de vallée: alluvial
Charge sédimentaire: sables, graviers, galets

Données quantitatives

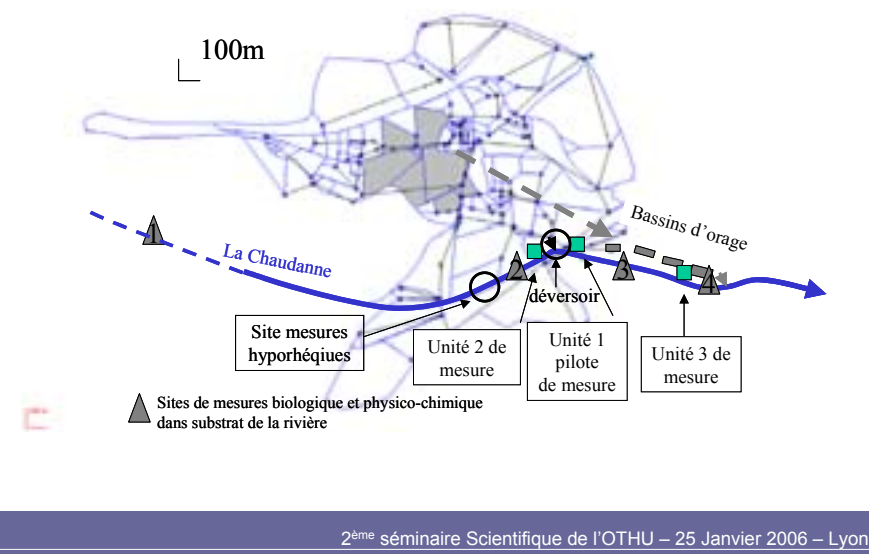
Paramètre	Unité	Unité	Unité
Profil en plan	100 m	100 m	100 m
Largeur de fond de vallée (m)	100	100	100
Profil en coupe	100 m	100 m	100 m
Profil en coupe (m)	100	100	100
Altitude	100 m	100 m	100 m
Profil longitudinal	100 m	100 m	100 m
Profil longitudinal (m)	100	100	100
Profil en coupe de section	100 m	100 m	100 m

Site de référence: Tullinville

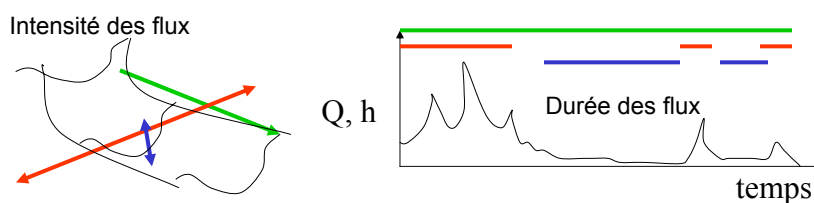
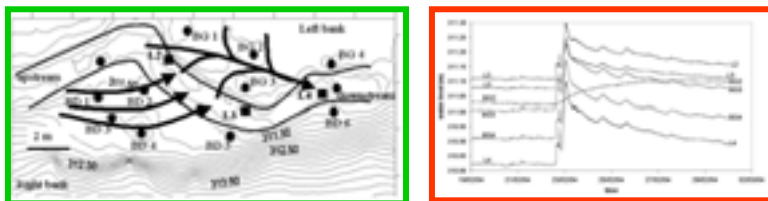
Site de référence: Tullinville
Bassin de versant: 1000 ha
Cours d'eau: Yzeron
Type de fond de vallée: alluvial
Charge sédimentaire: sables, graviers, galets

25 Janvier 2006 – Lyon

Le site expérimental dispositif métrologique

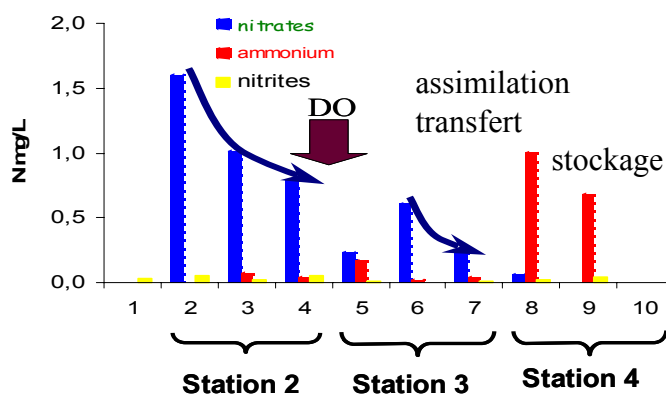


Site expérimental les flux hyporhéiques



F.Ruysschaert, Cemagref

Le site expérimental Fonctionnement trophique en Juin Azote minéral hyporhéique (mg/L)



Le site expérimental Les biocénoses: Méthode

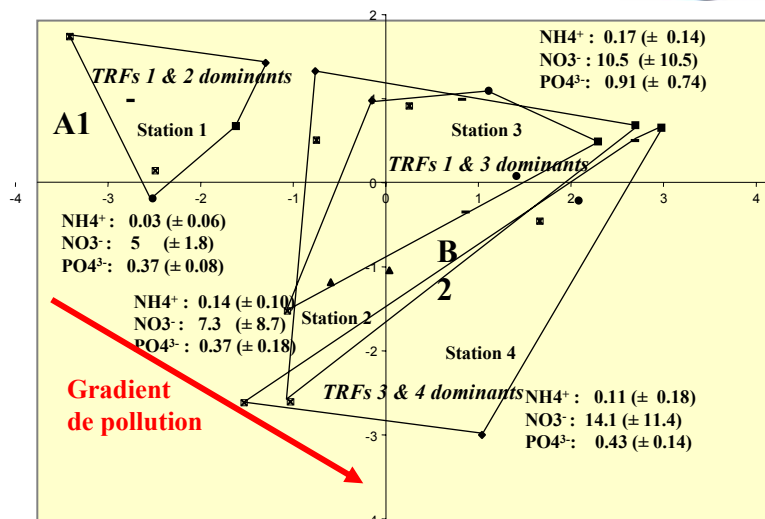


Les Traits Fonctionnels « TRFs » (biodiversité fonctionnelle)

TRF1	Perméabilité	% d'espèces d'invertébrés interstitiels caractéristiques d'échanges hydriques actifs entre les eaux superficielles et souterraines
TRF2	Intolérance	% d'espèces intolérantes à la pollution des eaux
TRF3	Tolérance	% d'espèces tolérantes à la pollution des eaux
TRF4	Effet boues	% d'espèces caractéristiques de la présence de boues polluées dans les interstices sédimentaires (sédiments poreux)

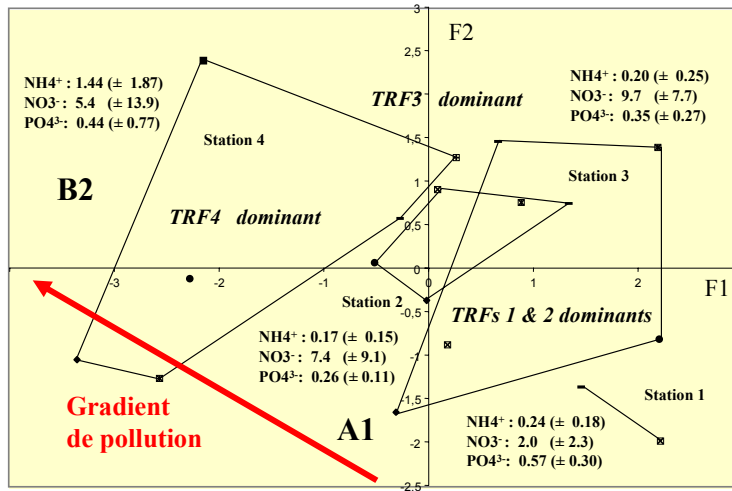
2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Le site expérimental Les biocénoses superficielles- Résultat



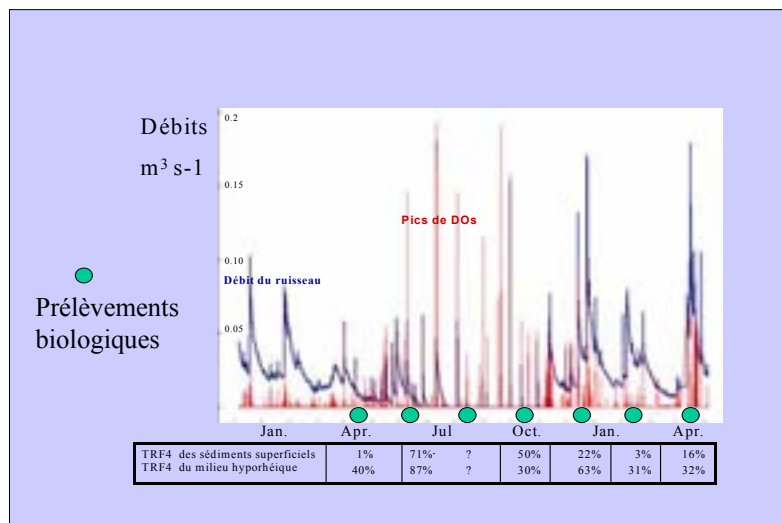
2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Le site expérimental Les biocénoses hyporhéiques - Résultat

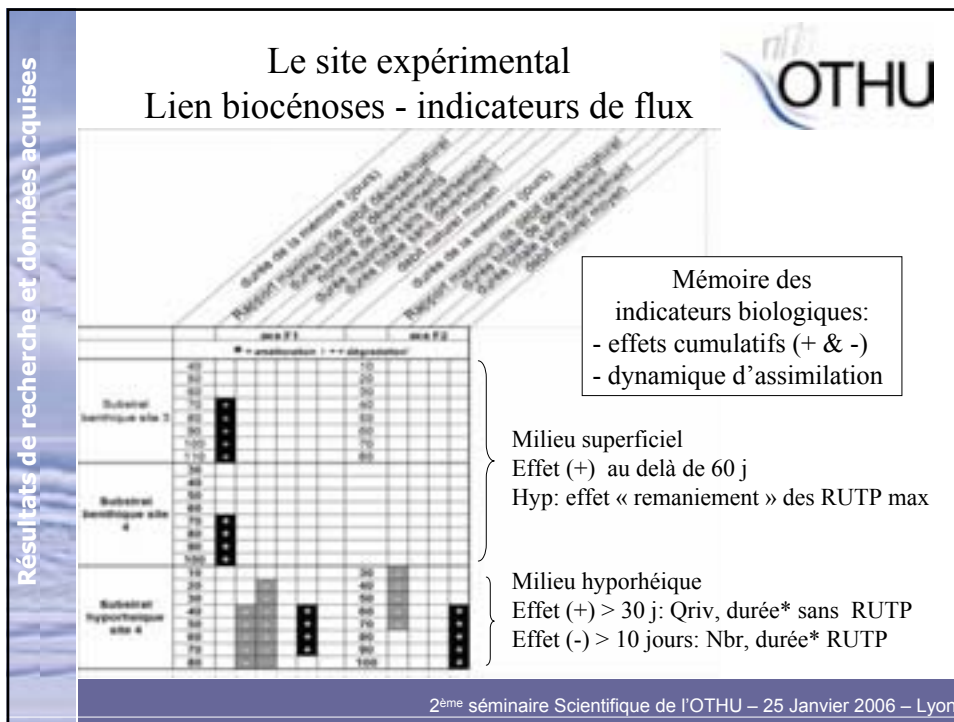
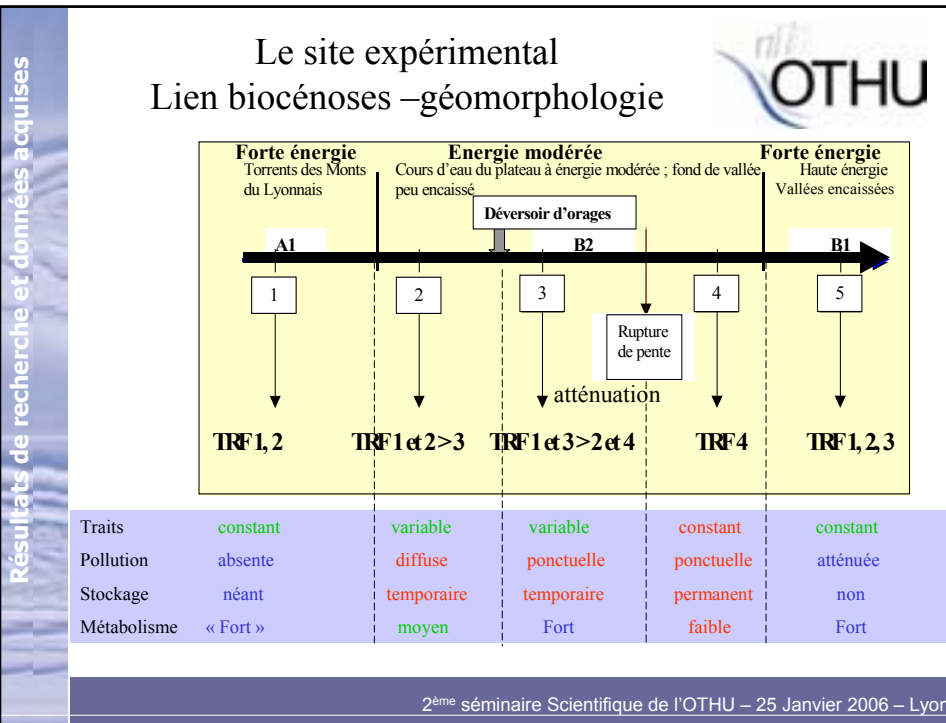


2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

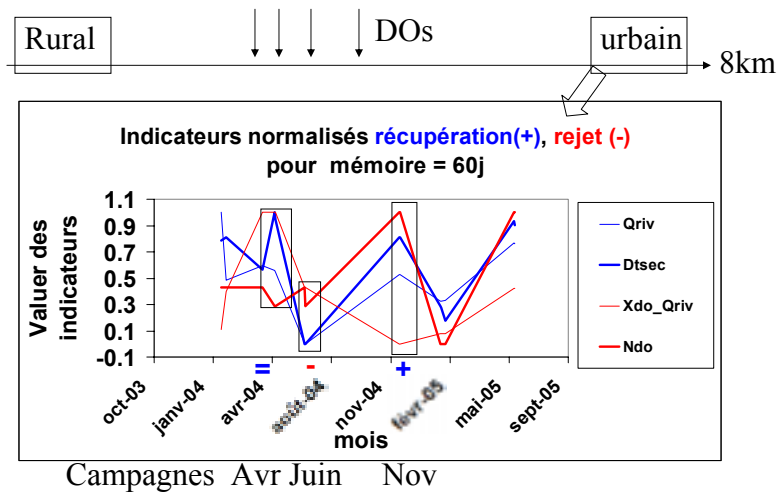
Le site expérimental Lien biocénoses – flux hydrologiques



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

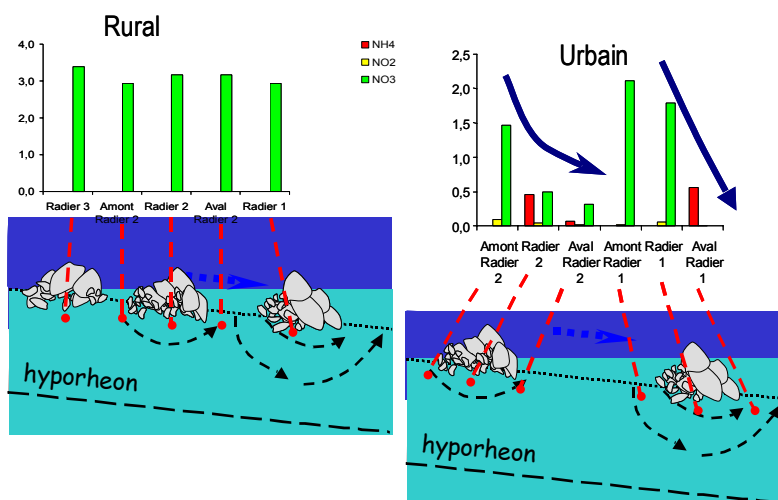


L'Yzeron, indicateurs de flux naturels et urbains en Avril, Juin et Nov



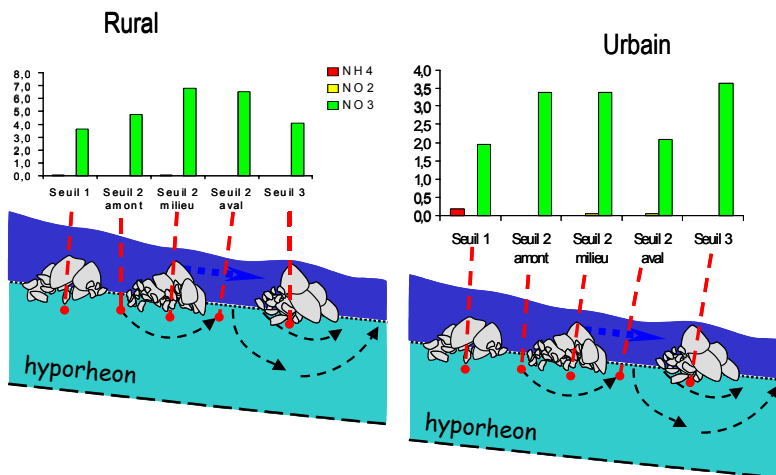
2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

L'Yzeron en Juin Fonctionnement trophique / formes Azote minéral hyporhéique (mg/L)



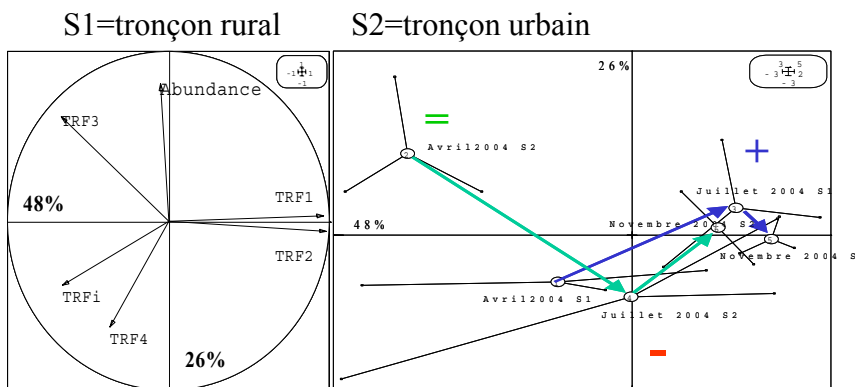
2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

L'Yzeron en Novembre Fonctionnement trophique / formes Azote minéral hyporhéique (mg/L)



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

L'Yzeron, biocénoses hyporhéiques en Avril, Juin et Nov: résultat



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Perspectives



- Le système «Formes-Flux-Biocénose»: une réalité?
- Capacité de changement d'échelle
- Outil d'aménagement et de gestion des rntp
 - Une dimension temporelle
 - Une dimension spatiale

Perspectives

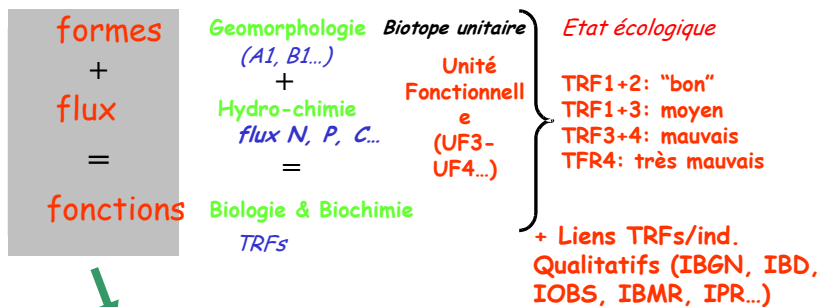
Le programme finalisé de l'OTHU



Territoires : rivières bv Yzeron, Soâne, Rhône

- Sous Programme n°3 : Gestion des déversoirs d'orage
 - Indicateurs « écologiques » des rntp: évaluation / simulation
- Sous Programme n°4 : Gestion des rivières périurbaines
 - Indicateurs d'état écologique:
 - Généralisation, propositions de principes de gestion
 - Rôles de l'incision / ensablement
 - Incision / ensablement: propositions de principes de gestion
 - Développer un pilote de terrain
 - Représenter les acteurs du « paysage aquatique »

Formes-Flux-Biocénoses



Vers des : Unités Fonctionnelles Ecologiques

De l'estimation en continu de la DCO par spectrométrie UV Visible.

A. Torres, J-L. Bertrand Krajewski - INSA de Lyon

De l'estimation en continu de la DCO par spectrométrie UV/visible

A. Torres, J.-L. Bertrand-Krajewski
URGC Hydrologie Urbaine, INSA de Lyon

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

INTRODUCTION

Mesurage des concentrations et
des flux polluants dans les
effluents urbains :

- gestion
- contrôle
- dimensionnement

Information traditionnellement
acquise au moyen de campagnes
de mesure :

- prélèvements automatiques
- analyses de laboratoire



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

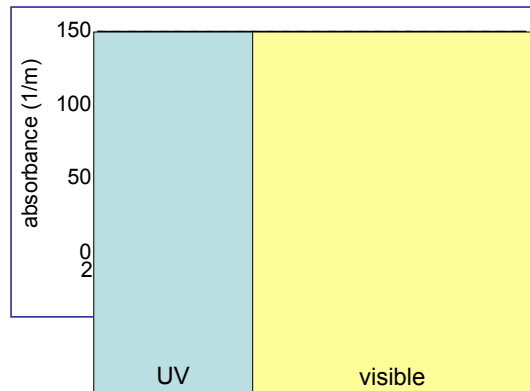


Inconvénients

- (i) mauvaise représentation de la variabilité à une échelle fine
- (ii) incertitudes de mesure importantes
- (iii) coûts d'installation et de fonctionnement élevés

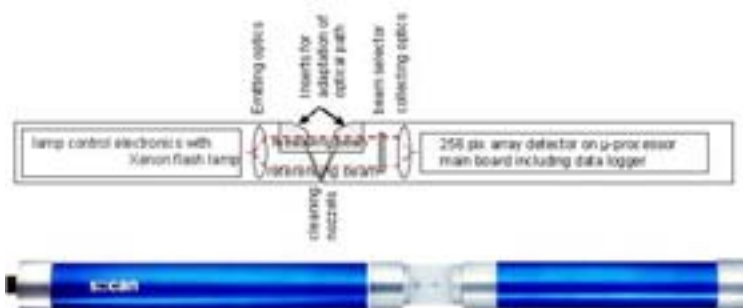
=> développement des technologies pour le suivi de la qualité de l'eau *in situ* et en temps réel

SPECTROMETRIE UV/VISIBLE



spectro::lyser

SPECTROMETRIE UV/VISIBLE



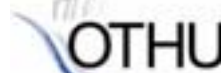
- Longueurs d'onde : 200 – 750 nm (pas de 2.5 nm)
- Résultats : DCO, MES et nitrates (mg/L)



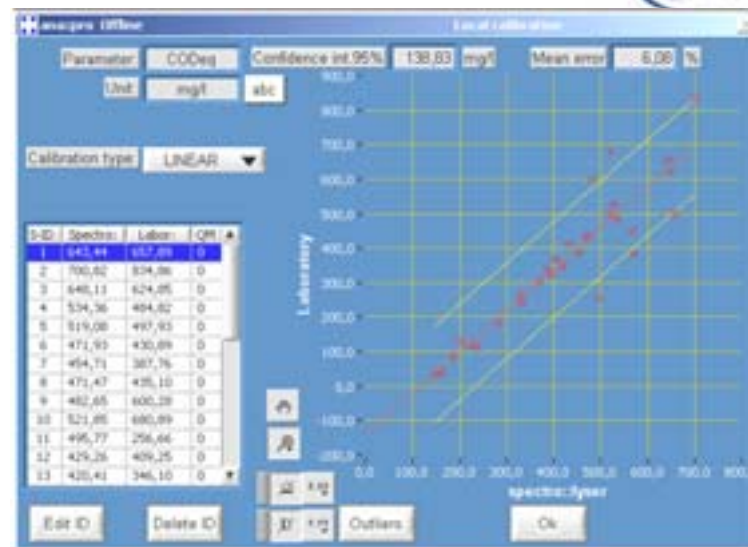
2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

logiciel d'exploitation ana::pro

SPECTROMETRIE UV/VISIBLE




- « global calibration »
- « local calibration »

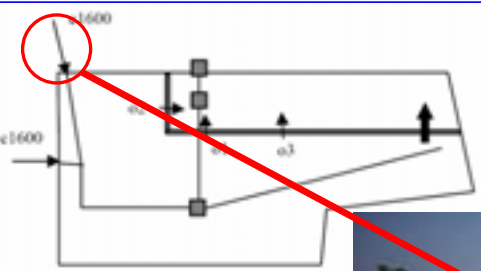


2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats de recherche et données acquises




SITE EXPERIMENTAL



Bardin et Barraud, 2004

- Entrée : deux collecteurs circulaires de 1,6 m de diamètre
- Temps sec : faible débit provenant de quelques industries



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats de recherche et données acquises



SITE EXPERIMENTAL



De Bénédictis et Bertrand-Krajewski, 2005

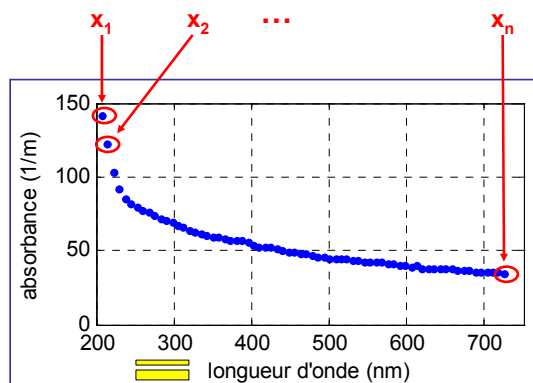






De Bénédictis et Bertrand-Krajewski, 2005

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon



CONCENTRATIONS DE POLLUANTS PRÉSENTS DANS L'EAU

REGRESSION PLS (Partial Least Squares)



Technique particulièrement utile quand :

- nombre de descripteurs > nombre d'observations
- corrélations entre les variables

Étapes de la régression PLS :

- généralisation de la PCA
- régression multiple



Programme de régression PLS

- algorithme NIPALS (Nonlinear estimation by Iterative Partial Least Squares)
- validation croisée de type *Jackknife* pour choisir le nombre optimum de vecteurs latents
- validation croisée « 2D » pour choisir les variables indépendantes à prendre en compte



Résultats de laboratoire (site expérimental OTHU à Ecully)

date	X				Y	
	TALC (mg/L)	pH	Conductivité (µmhos/cm)	Turbidité (NTU)	Température (°C)	DGC (mg/L)
24/09/2004 17:00	154	7.5	969	117	20.0	8.74
24/09/2004 17:00	149	7.7	966	37	20.0	2.74
24/09/2004 18:00	154	7.7	954	115	20.0	2.93
24/09/2004 18:00	204	7.9	1218	218	20.4	1.57
24/09/2004 20:00	204	7.7	950	182	20.8	2.51
24/09/2004 21:00	166	7.6	825	170	21.0	2.15
24/09/2004 21:30	190	7.6	911	151	21.2	8.16
24/09/2004 21:00	160	7.6	662	65	20.1	21.9
24/09/2004 20:00	192	7.8	911	60	20.4	28.0
24/09/2004 21:30	74	7.6	885	44	20.1	19.6
24/09/2004 22:00	81	7.5	604	20	19.4	12.6
24/09/2004 21:00	30	7.5	709	14	19.7	7.7
24/09/2004 21:30	7	7.5	115	12	19.7	5.4
24/09/2004 21:00	11	7.5	843	12	19.4	4.9
24/09/2004 21:00	22	7.5	140	12	19.0	3.1
24/09/2004 21:30	117	7.8	851	44	19.4	7.84
24/09/2004 21:30	444	8.4	1245	218	20.7	7.56
24/09/2004 21:00	228	8.1	1734	199	20.5	1.10
24/09/2004 11:00	214	7.6	811	175	20.7	1.74
24/09/2004 11:30	204	7.5	885	171	20.8	8.11
24/09/2004 11:00	243	7.5	811	182	20.8	4.11
24/09/2004 11:00	197	7.4	905	115	20.7	1.72
24/09/2004 14:30	114	7.1	942	124	20.8	8.19
24/09/2004 15:00	207	7.2	910	124	20.4	4.11

Validation croisée de type Jackknife

REGRESSION PLS



ETALONNAGE

date	MES (mg/L)	pH	Conductivité (µS/cm)	Turbidité (NTU)	Température (°C)	DCO (mg/L)
29/09/2004 18:00	164	7.7	994	119	20.2	383
29/09/2004 19:00	266	7.8	1030	218	20.4	506
29/09/2004 21:00	266	7.6	897	170	21.0	515
29/09/2004 22:00	180	7.6	911	101	21.0	436
29/09/2004 23:00	100	7.6	802	65	20.6	259
30/09/2004 00:00	102	7.8	917	60	20.4	282
30/09/2004 01:00	74	7.6	885	44	20.1	156
30/09/2004 03:00	36	7.5	769	14	19.7	77
30/09/2004 04:00	25	7.5	715	10	19.5	54
30/09/2004 06:00	444	8.4	1005	278	20.2	706
30/09/2004 10:00	258	7.6	877	175	20.5	539
30/09/2004 11:00	208	7.5	865	131	20.6	411
30/09/2004 12:00	246	7.5	877	152	20.8	411
30/09/2004 13:00	162	7.4	905	113	20.7	369
30/09/2004 14:00	178	7.3	942	124	20.8	438
30/09/2004 15:00	202	7.2	978	124	20.8	463

TEST

date	MES (mg/L)	pH	Conductivité (µS/cm)	Turbidité (NTU)	Température (°C)	DCO (mg/L)
29/09/2004 16:00	136	7.5	989	113	20.0	424
29/09/2004 17:00	148	7.7	964	91	20.0	374
29/09/2004 20:00	304	7.7	952	182	20.9	551
30/09/2004 02:00	41	7.5	804	20	19.9	105
30/09/2004 05:00	17	7.5	847	10	19.3	49
30/09/2004 06:00	22	7.5	740	10	19.2	44
30/09/2004 07:00	112	7.8	827	44	19.4	184
30/09/2004 09:00	338	8.1	1134	189	20.5	612

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Validation croisée de type Jackknife

REGRESSION PLS



ETALONNAGE

date	MES (mg/L)	pH	Conductivité (µS/cm)	Turbidité (NTU)	Température (°C)	DCO (mg/L)
29/09/2004 19:00	266	7.8	1030	218	20.4	506
29/09/2004 21:00	266	7.6	897	170	21.0	515
29/09/2004 22:00	180	7.6	911	101	21.0	436
29/09/2004 23:00	100	7.6	802	65	20.6	259
30/09/2004 00:00	102	7.8	917	60	20.4	282
30/09/2004 01:00	74	7.6	885	44	20.1	156
30/09/2004 03:00	36	7.5	769	14	19.7	77
30/09/2004 04:00	25	7.5	715	10	19.5	54
30/09/2004 06:00	444	8.4	1005	278	20.2	706
30/09/2004 10:00	258	7.6	877	175	20.5	539
30/09/2004 11:00	208	7.5	865	131	20.6	411
30/09/2004 12:00	246	7.5	877	152	20.8	411
30/09/2004 13:00	162	7.4	905	113	20.7	369
30/09/2004 14:00	178	7.3	942	124	20.8	438
30/09/2004 15:00	202	7.2	978	124	20.8	463

X pour étalonner un modèle PLS à 1 VL

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats de recherche et données acquises

REGRESSION PLS
OTHU

Validation croisée de type Jackknife

date	MES (mg/L)	pH	Conductivité (µS/cm)	Turbidité (NTU)	Température (°C)	DCO (mg/L)
29/09/2004 18:00	164	7.7	934	119	20.7	

ETALONNAGE

X pour tester le modèle PLS à 1 VL

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats de recherche et données acquises

REGRESSION PLS
OTHU

Validation croisée de type Jackknife

date	MES (mg/L)	pH	Conductivité (µS/cm)	Turbidité (NTU)	Température (°C)	DCO (mg/L)	DCOpred (mg/L)
29/09/2004 18:00	164	7.7	934	119	20.7		404

ETALONNAGE

X pour tester le modèle PLS à 1 VL

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Validation croisée de type Jackknife

REGRESSION PLS



date	MES (mg/L)	pH	Conductivité (µ-S/cm)	Turbidité (NTU)	Température (°C)	DCO (mg/L)	DCO préd (mg/L)	residus (mg/L)
29/09/2004 18:00	164	7.7	934	119	20.2	393	404	134

ETALONNAGE

Validation croisée de type Jackknife

REGRESSION PLS



date	MES (mg/L)	pH	Conductivité (µ-S/cm)	Turbidité (NTU)	Température (°C)	DCO (mg/L)
29/09/2004 18:00	164	7.7	934	119	20.2	
29/09/2004 21:00	266	7.6	897	170	21.0	
29/09/2004 22:00	180	7.6	911	101	21.0	
29/09/2004 23:00	100	7.6	802	65	20.6	
30/09/2004 00:00	102	7.8	917	60	20.4	
30/09/2004 01:00	74	7.6	885	44	20.1	
30/09/2004 03:00	36	7.5	769	14	19.7	
30/09/2004 04:00	25	7.5	715	10	19.5	
30/09/2004 08:00	444	8.4	1005	278	20.2	
30/09/2004 10:00	250	7.6	877	175	20.5	
30/09/2004 11:00	208	7.5	865	131	20.6	
30/09/2004 12:00	246	7.5	877	152	20.8	
30/09/2004 13:00	162	7.4	905	113	20.7	
30/09/2004 14:00	178	7.3	942	124	20.8	
30/09/2004 15:00	202	7.2	970	124	20.8	

ETALONNAGE

X pour étalonner un modèle PLS à 1 VL

Résultats de recherche et données acquises

Validation croisée de type Jackknife

REGRESSION PLS

OTHU

date	MES (mg/L)	pH	Conductivité (µ-S/cm)	Turbidité (NTU)	Température (°C)	DCO (mg/L)
20/01/2004 19:00	218	7.8	1000	218	20.4	

ETALONNAGE

X pour tester le modèle PLS à 1 VL

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats de recherche et données acquises

Validation croisée de type Jackknife

REGRESSION PLS

OTHU

date	MES (mg/L)	pH	Conductivité (µ-S/cm)	Turbidité (NTU)	Température (°C)	DCO (mg/L)	DCOpred (mg/L)
20/01/2004 19:00	218	7.8	1000	218	20.4		512

ETALONNAGE

X pour tester le modèle PLS à 1 VL

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Validation croisée de type Jackknife

REGRESSION PLS



ETALONNAGE

date	MES (mg/L)	pH	Conductivité (µS/cm)	Turbidité (NTU)	Température (°C)	DCO (mg/L)
29/09/2004 19:00	266	7.8	1030	218	20.4	506

DCOpred (mg/L)	residus' (mg/L)
454	124
572	4347

-
-
-

Validation croisée de type Jackknife

REGRESSION PLS



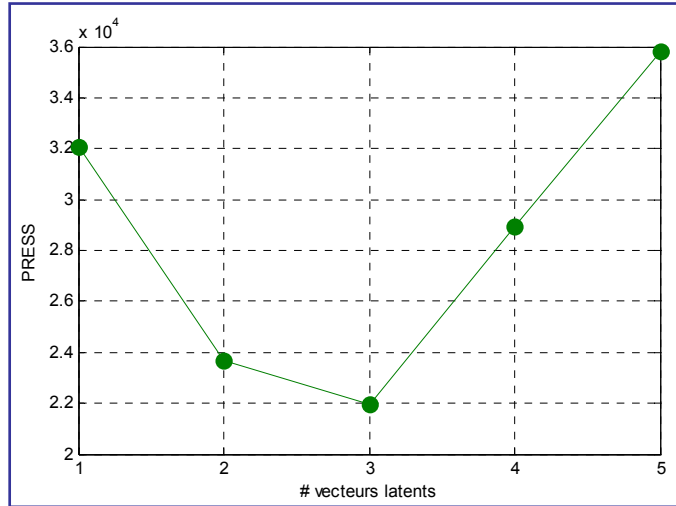
ETALONNAGE

date	MES (mg/L)	pH	Conductivité (µS/cm)	Turbidité (NTU)	Température (°C)	DCO (mg/L)
29/09/2004 18:00	164	7.7	994	119	20.2	393
29/09/2004 19:00	266	7.8	1030	218	20.4	506
29/09/2004 21:00	266	7.6	897	170	21.0	515
29/09/2004 22:00	180	7.6	911	101	21.0	436
29/09/2004 23:00	100	7.6	802	65	20.6	259
30/09/2004 00:00	102	7.8	917	60	20.4	282
30/09/2004 01:00	74	7.6	885	44	20.1	196
30/09/2004 03:00	36	7.5	769	14	19.7	77
30/09/2004 04:00	25	7.5	715	10	19.5	54
30/09/2004 08:00	444	8.4	1005	278	20.2	706
30/09/2004 10:00	250	7.6	877	175	20.5	539
30/09/2004 11:00	208	7.5	865	131	20.6	411
30/09/2004 12:00	246	7.5	877	152	20.8	411
30/09/2004 13:00	162	7.4	905	113	20.7	369
30/09/2004 14:00	178	7.3	942	124	20.8	438
30/09/2004 15:00	202	7.2	970	124	20.8	463

DCOpred (mg/L)	residus' (mg/L)
454	124
572	4347
489	655
464	1009
305	2116
318	1318
247	2542
113	1301
58	20
701	24
433	11181
379	1014
433	493
369	0
389	2634
405	3421
PRESS	52086



Validation croisée de type Jackknife

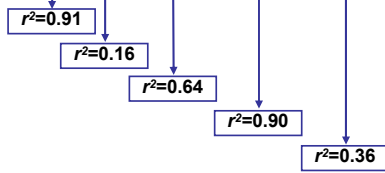


Validation croisée « 2D »



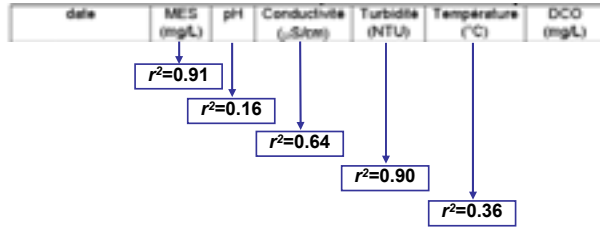
date	X					Y
	MES (mg/L)	pH	Conductivité (µS/cm)	Turbidité (NTU)	Température (°C)	DCO (mg/L)
29/09/2004 18:00	164	7.7	994	119	20.2	383
29/09/2004 19:00	266	7.8	1030	218	20.4	506
29/09/2004 21:00	268	7.6	897	170	21.0	515
29/09/2004 22:00	180	7.6	911	101	21.0	436
29/09/2004 23:00	190	7.6	882	60	20.6	299
30/09/2004 00:00	192	7.8	917	60	20.4	282
30/09/2004 01:00	74	7.8	885	44	20.1	196
30/09/2004 03:00	36	7.5	769	14	19.7	77
30/09/2004 04:00	25	7.5	715	10	19.5	54
30/09/2004 06:00	444	8.4	1060	278	20.2	706
30/09/2004 10:00	258	7.6	877	175	20.5	539
30/09/2004 11:00	208	7.5	865	131	20.6	411
30/09/2004 12:00	246	7.5	877	152	20.8	411
30/09/2004 13:00	162	7.4	905	113	20.7	369
30/09/2004 14:00	178	7.3	942	124	20.8	439
30/09/2004 15:00	202	7.2	970	124	20.8	463

ETALONNAGE



Validation croisée « 2D »

REGRESSION PLS

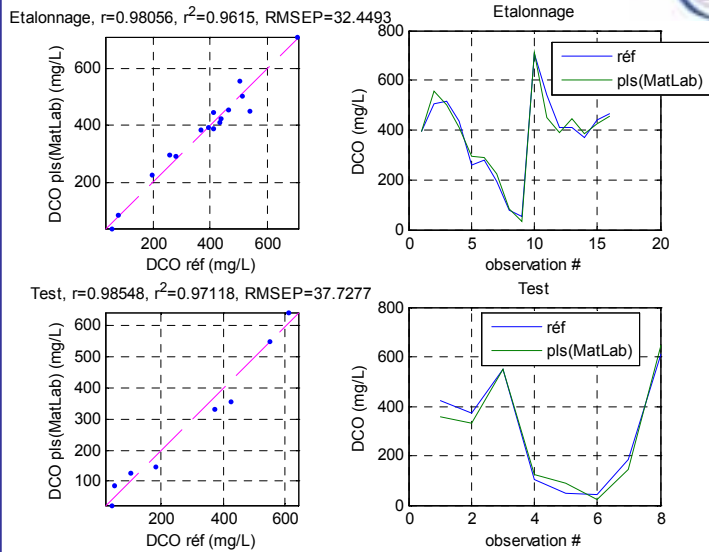


nombre de vecteurs latents	nombre de variables indépendantes			
	2 (MES, turb)	3 (MES, turb, cond)	4 (MES, turb, cond, temp)	5 (MES, turb, cond, temp, pH)
1				
2				
3				
4				
5				

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats fournis par le programme PLS développé sous MatLab (VI=4, VL=1)

REGRESSION PLS



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

APPLICATION AU SITE EXPERIMENTAL DJANGO REINHARDT



Résultats de laboratoire pour des échantillons prélevés à l'entrée du bassin de retenue-décantation Django Reinhardt à Chassieu

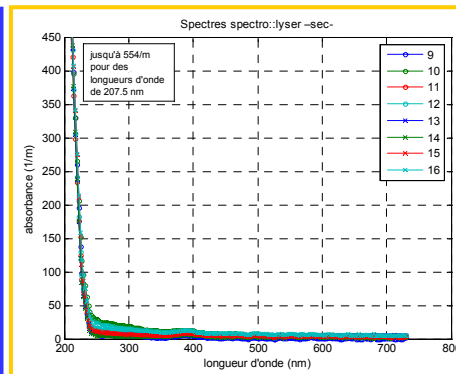
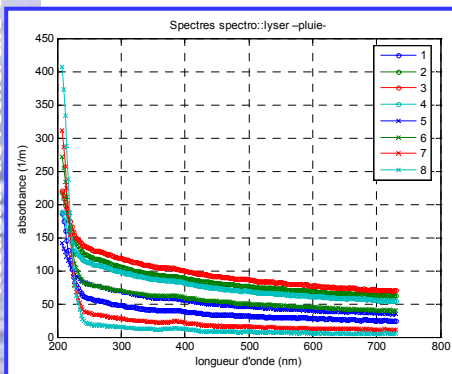
No.	Pluie/Sec	Turbidité	MES (mg/L)	DCO (mg/L)
1	Pluie	162	152	230
2	Pluie	147	345	354
3	Pluie	431	390	449
4	Pluie	148	271	291
5	Pluie	248	159	194
6	Pluie	239	188	122
7	Pluie	95	41	31
8	Pluie	31	13	30
9	Sec	8	2	24
10	Sec	23	13	54
11	Sec	20	11	24
12	Sec	31	11	17
13	Sec	20	31	6
14	Sec	18	3	4
15	Sec	14	5	57
16	Sec	23	6	70

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

No.	Pluie/Sec	Turbidité	MES (mg/L)	DCO (mg/L)
1	Pluie	162	152	230
2	Pluie	147	345	354
3	Pluie	431	390	449
4	Pluie	148	271	291
5	Pluie	248	159	194
6	Pluie	239	188	122
7	Pluie	95	41	31
8	Pluie	31	13	30
9	Sec	8	2	24
10	Sec	23	13	54
11	Sec	20	11	24
12	Sec	31	11	17
13	Sec	20	31	6
14	Sec	18	3	4
15	Sec	14	5	57
16	Sec	23	6	70



APPLICATION



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon



No.	Pluie/Sec	Turbidité	MES (mg/L)	DCO (mg/L)
1	Pluie	162	152	230
2	Pluie	347	345	364
3	Pluie	431	393	347
4	Pluie	348	271	291
5	Pluie	248	159	194
6	Pluie	239	166	123
7	Pluie	95	41	51
8	Pluie	31	13	20
9	Sec	8	2	24
10	Sec	23	13	54
11	Sec	20	11	24
12	Sec	31	11	17
13	Sec	20	31	6
14	Sec	18	2	4
15	Sec	14	5	51
16	Sec	23	6	70

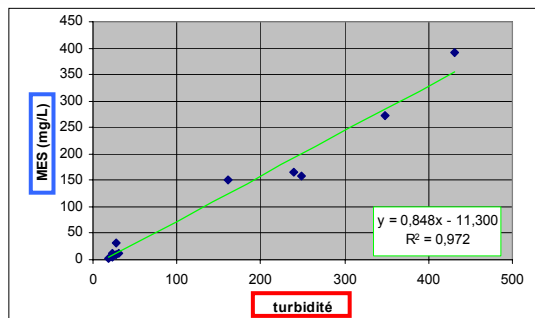
Modèles de prédiction de MES et DCO

- relations avec la turbidité
- global calibration (ana::pro)
- local calibration (ana::pro)
- pls (MatLab)



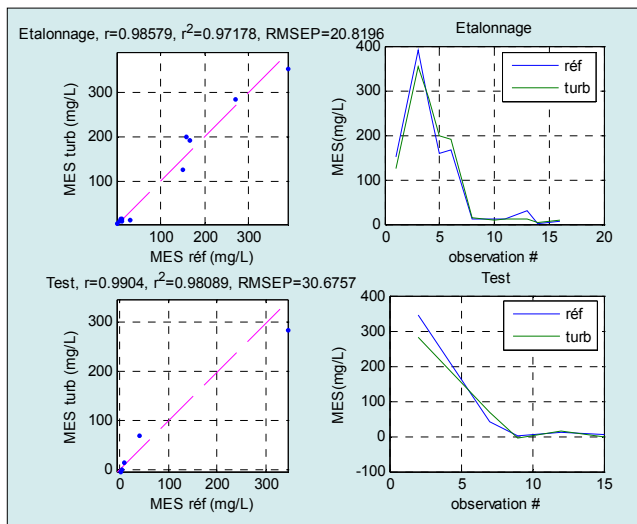
Relation MES-turbidité

No.	Pluie/Sec	Turbidité	MES (mg/L)	DCO (mg/L)	REMARQUES
1	Pluie	162	152	230	Pluie
2	Pluie	347	345	364	Pluie
3	Pluie	431	393	347	Pluie
4	Pluie	348	271	291	Pluie
5	Pluie	248	159	194	Pluie
6	Pluie	239	166	123	Pluie
7	Pluie	95	41	51	Pluie
8	Pluie	31	13	20	Pluie
9	Sec	8	2	24	Sec
10	Sec	23	13	54	Sec
11	Sec	20	11	24	Sec
12	Sec	31	11	17	Sec
13	Sec	20	31	6	Sec
14	Sec	18	2	4	Sec
15	Sec	14	5	51	Sec
16	Sec	23	6	70	Sec



Résultats pour les MES

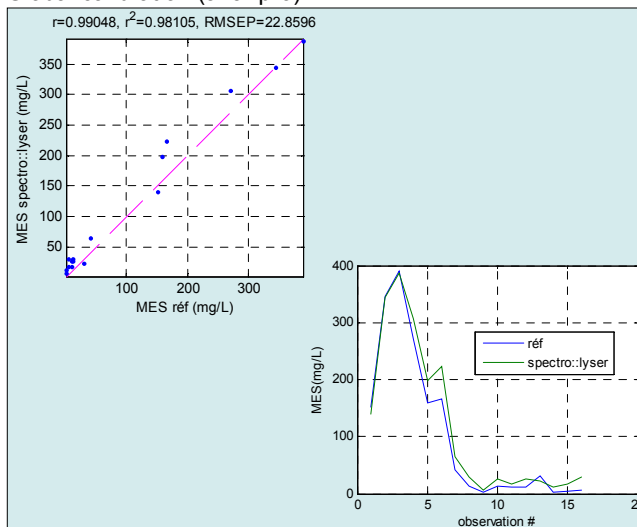
Relation MES-turbidité



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats pour les MES

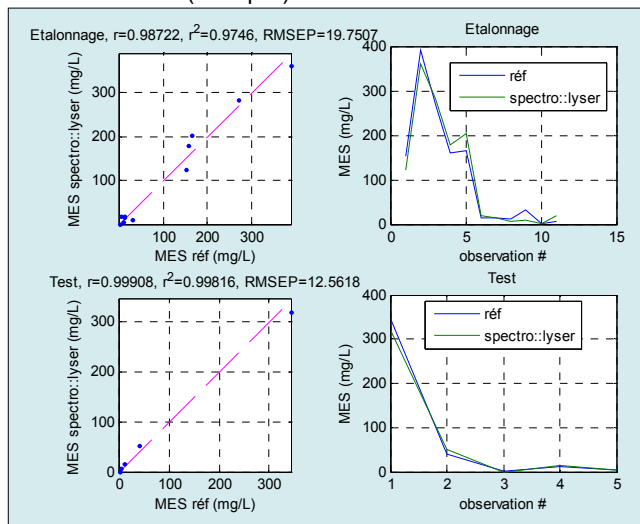
Global calibration (ana::pro)



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats pour les MES

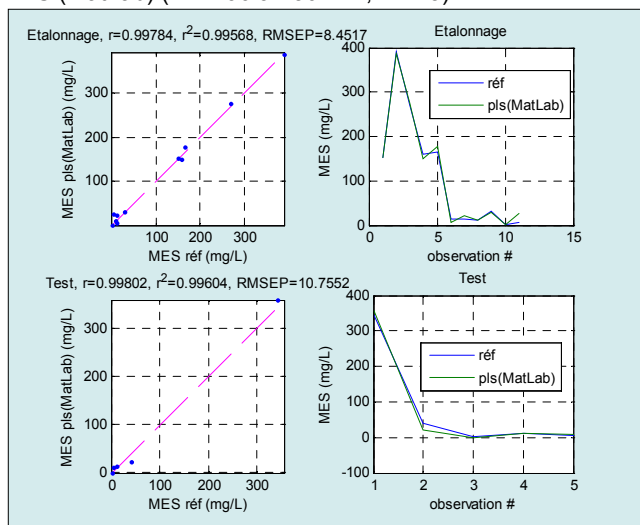
Local calibration (ana::pro)



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

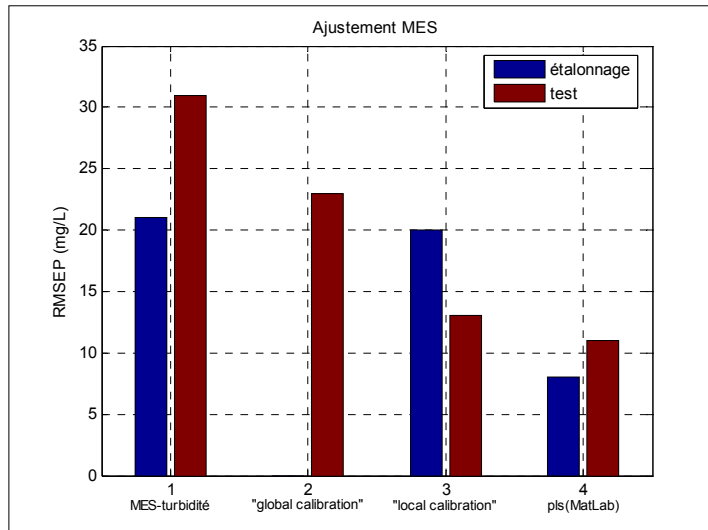
Résultats pour les MES

PLS (MatLab) (VI : 290 à 730 nm ; VL : 3)



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

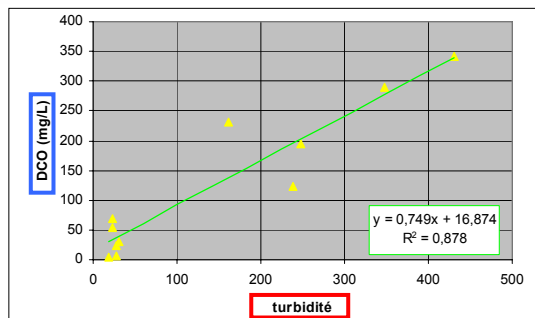
Résultats pour les MES



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Relation DCO-turbidité

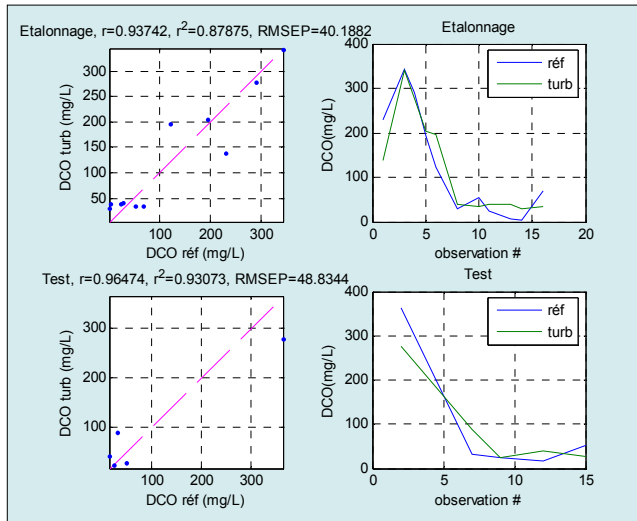
N°	Phase/état	Turbidité	MES (mg/L)	DCO (mg/L)	Commentaire
1	étage	30	10	10	étalonnage
2	étage	30	10	30	test
3	étage	40	10	40	étalonnage
4	étage	40	10	20	étalonnage
5	étage	40	10	10	étalonnage
6	étage	20	10	10	étalonnage
7	étage	10	10	10	test
8	étage	10	10	20	étalonnage
9	étage	10	10	10	test
10	étage	10	10	10	étalonnage
11	étage	10	10	20	étalonnage
12	étage	10	10	10	test
13	étage	10	10	10	étalonnage
14	étage	10	10	4	étalonnage
15	étage	10	10	10	test
16	étage	10	10	10	étalonnage



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats pour la DCO

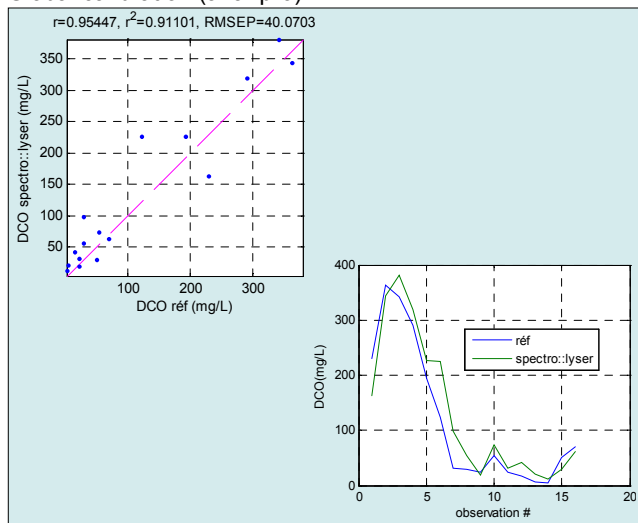
Relation DCO-turbidité



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats pour la DCO

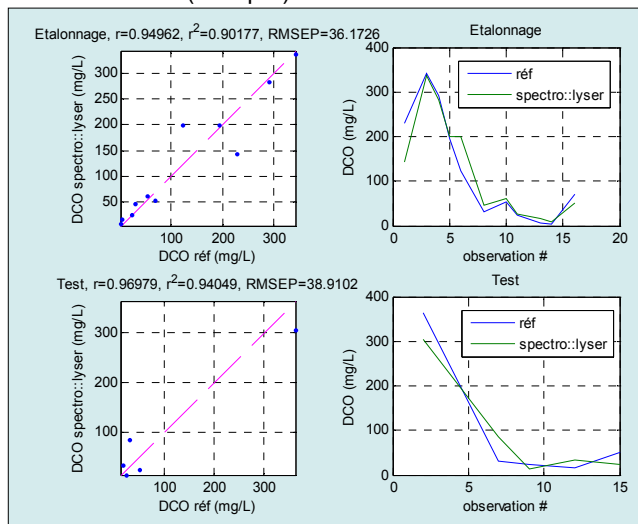
Global calibration (ana::pro)



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats pour la DCO

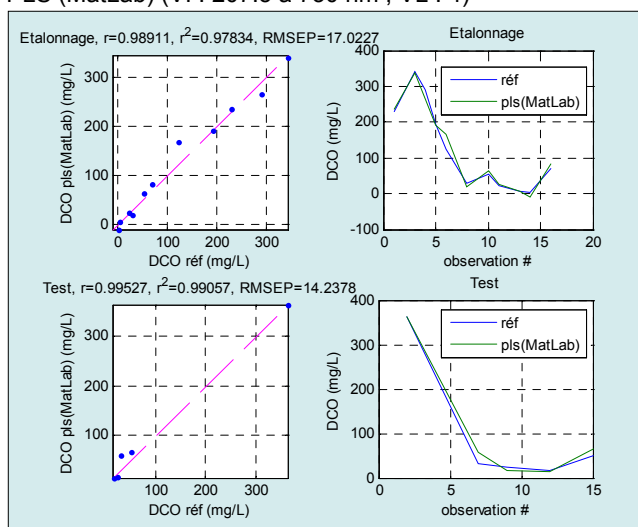
Local calibration (ana::pro)



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

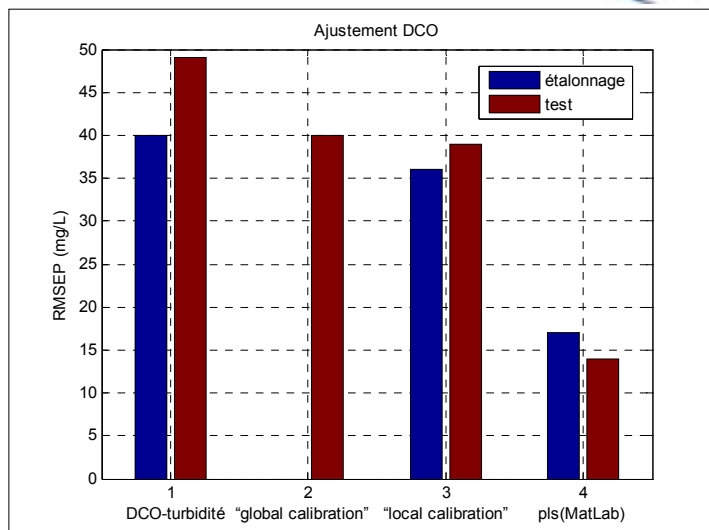
Résultats pour la DCO

PLS (MatLab) (VI : 207.5 à 730 nm ; VL : 4)



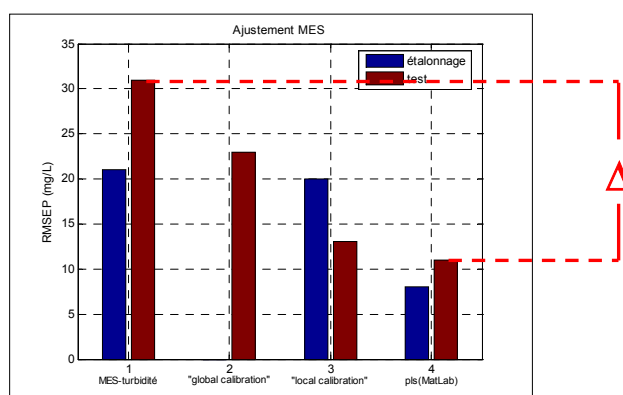
2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Résultats pour la DCO



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Amélioration utile ?



2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

Exemple

Pour période de temps sec (11/04/2005), mesurage simultané de :

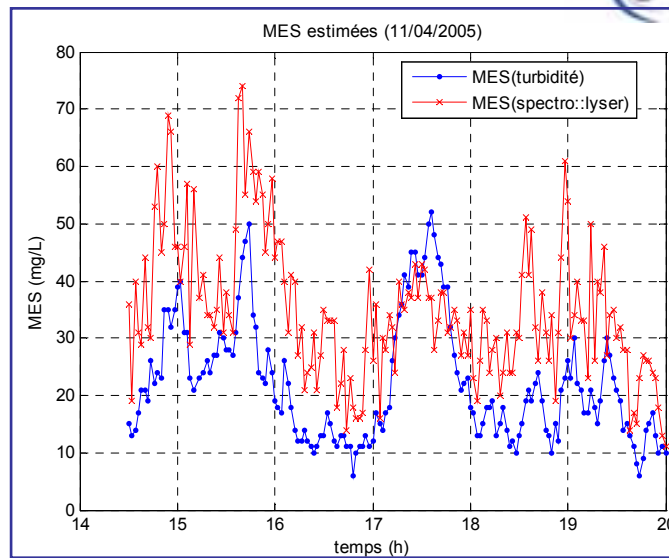
- Turbidité
- Spectres (spectro::lyser)

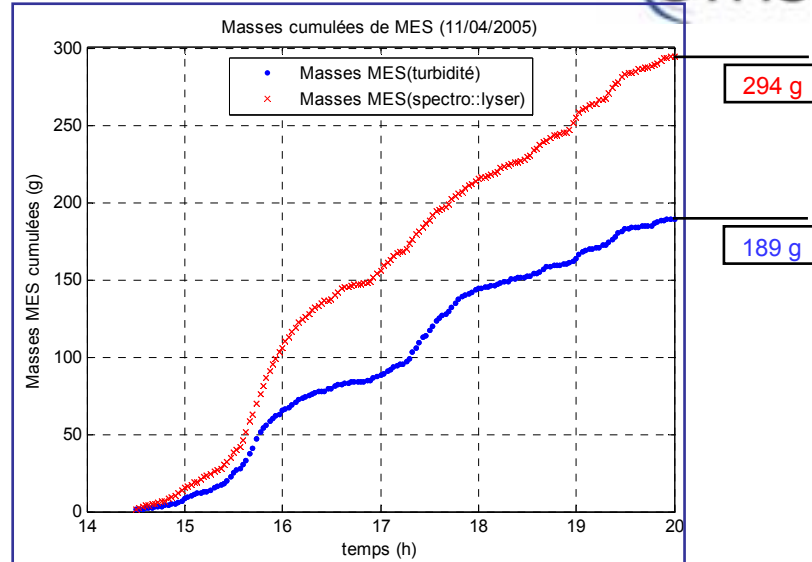
Application des modèles étalonnés pour convertir ces mesurages en concentrations MES :

- Relation MES-Turbidité
- PLS (MatLab)

Comparaison des résultats :

- Concentrations MES (mg/L)
- Masse cumulée de MES entrant dans le bassin (g)





CONCLUSIONS

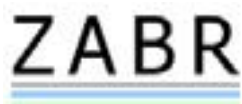
- L'utilisation des spectromètres UV/visible : intéressante pour le suivi de la qualité de l'eau en temps réel en réseau d'assainissement.
- Etalonnage local : indispensable (précision, variabilité de la composition des eaux).
- Programme PLS (MatLab) : modèles plus précis.
- Bassin de retenue-décantation Django Reinhardt : campagnes de mesure en entrée et sortie (2006-2007) pour différents événements pluvieux.
- Après étalonnage en entrée et sortie du bassin : suivi en continu de l'efficacité épuratoire de l'ouvrage => meilleure gestion.

De l'estimation en continu de la DCO par spectrométrie UV/visible

A. Torres, J.-L. Bertrand-Krajewski
URGC Hydrologie Urbaine, INSA de Lyon

2^{ème} séminaire Scientifique de l'OTHU – 25 Janvier 2006 – Lyon

**Partenaires
de la journée**



graie

GRUPE DE RECHERCHE RHONE-ALPES
SUR LES INFRASTRUCTURES ET L'EAU
BP 2132 - 69603 Villeurbanne cedex - France
Tél. : 04 72 43 83 68 • Fax : 04 72 43 92 77
E.mail : asso@graie.org - www.graie.org