

# Eau <sup>et</sup> Santé

3<sup>e</sup> CONFÉRENCE

## Eaux, chaîne trophique et santé

Conférence organisée avec le soutien de :



Rhône-Alpes



Techno.Cités



graie

GRANDLYON

communauté urbaine

astee

association scientifique  
et technique pour l'eau  
et l'environnement

JEUDI 20 JANVIER 2011 - LYON



# Eau<sub>et</sub> Santé

3<sup>e</sup> CONFERENCE

## Eaux, chaîne trophique et santé

Judi 20 janvier 2011 – Amphithéâtre de la Caisse d'Epargne, Lyon (69)

**Organismes partenaires :**

DREAL Rhône-Alpes  
Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée & Corse  
Région Rhône-Alpes  
Cluster de Recherche Environnement de la Rhône-Alpes



GRANDLYON  
communauté urbaine





---

# Sommaire

---

## Avant-propos

## Programme de la conférence

### Supports d'intervention

Introduction : Chaîne trophique et multi-exposition - la part de l'eau Yves Perrodin, <i>ENTPE</i> -----	11
Perception par les pêcheurs amateurs du risque lié à la chaîne trophique Gilles Armani, <i>Maison du fleuve Rhône</i> -----	17
<b>Sources – Vecteur eau</b>	
Sources et stratégies de réduction des rejets de systèmes d'assainissement urbain Samuel Martin, <i>Département R&amp;D, Suez Environnement</i> -----	23
<i>Transfert de polluants vers les milieux aquatiques</i>	
Ecoulements en milieu agricole et produits phytosanitaires Nadia Carluer, <i>Cemagref de Lyon</i> -----	31
Ruissellement urbain et micropolluants Jean-Luc Bertrand Krajewski, <i>INSA Lyon</i> -----	41
<i>Effluents hospitaliers</i>	
Identification des médicaments bioaccumulables et étude de leur écotoxicité Aurélien Brackers de Hugo, <i>ENTPE – Faculté de Pharmacie de Lyon</i>	47
Procédés d'élimination des substances médicamenteuses selon les risques Christophe Dagot, <i>Université de Limoges</i> -----	55

### **Impacts – Milieux et chaîne trophique**

Devenir des produits phytosanitaires – Prolifération algale et cyanobactéries : deux cas d'études en étangs Dominique Vallod, <i>ISARA</i> -----	63
Comment les poissons se contaminent par les PCB ? Eléments de réponse pour quelques espèces d'eau douce Marc Babut, <i>Cemagref de Lyon</i> -----	75

### **Risques – Outils d'identification et de gestion**

Evaluation de réduction des impacts biologiques des rejets de stations d'épuration urbaines Luis Castillo, <i>Veolia Environnement Recherche et Innovation</i> -----	83
Identification des sources de pollution fécale : application en milieu littoral Michèle Gourmelon, <i>IFREMER Brest</i> -----	91
Evaluation du risque hydrique pour l'Homme : éléments de méthodologie Olivier Catelinois, <i>InVs (Cire)</i> -----	101
Prise en compte du risque sanitaire dans les plans d'actions à différentes échelles Pascal Simonin, <i>DREAL Rhône-Alpes</i> , Nicolas Chantepy, <i>Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée &amp; Corse</i> -----	107

## Références et sites internet

---

# Avant Propos

---

## **Contexte :**

Dans le prolongement des deux conférences Eau & santé de 2006 et 2008, nous reprenons le schéma "Sources – Impact" :

- les sources de pollutions liées aux activités humaines
- les impacts sur les milieux récepteurs avec les risques sanitaires et écologiques qui leurs sont liés.

Cette année, nous nous concentrons sur les micropolluants bioaccumulables, qui, véhiculés via la chaîne trophique, peuvent présenter un risque pour la santé humaine.

Nous présentons un état des nouvelles connaissances sur les polluants présents dans les différents effluents – notamment hospitaliers, agricoles et urbains – et sur les solutions de traitement.

Nous pourrons ensuite mieux comprendre les phénomènes et problématiques rencontrés dans différents milieux aquatiques : étangs et cours d'eau.

Nous vous proposons enfin de mieux connaître, d'une part, certains outils de diagnostic et d'évaluation des impacts et des risques pour la santé humaine et, d'autre part, les outils de planification et de gestion de l'eau et des milieux aquatiques qui intègrent cette problématique.

En souhaitant vous faire partager les connaissances disponibles et nécessaires pour faire face aux enjeux sanitaires d'aujourd'hui et mettre en place les solutions de demain.

## **Objectif :**

Dans la tradition des conférences du GRAIE et de l'ASTEE, l'objectif est de faire le point sur les connaissances, par la présentation de résultats de recherche et d'observations, et de bénéficier de retours d'expérience.

## **Public :**

Cette journée, à vocation nationale, s'adresse particulièrement aux acteurs de la gestion de l'eau et de l'assainissement :

- les maîtres d'ouvrages et exploitants (collectivités territoriales, exploitants, industriels, ...) ;
- les prestataires techniques (bureaux d'études, laboratoires d'analyses, ...) ;
- les partenaires institutionnels (services de l'Etat, Agences de l'Eau) ;
- les chercheurs des différentes disciplines concernées.

# Programme

## 09h30 Accueil

### 09h30 Ouverture

Mireille Elmalan\*, Vice-présidente du Grand Lyon  
Alain Chabrolle, Vice-président de la Région Rhône-Alpes  
Marie-Agnès Chappier, Présidente de la section régionale de l'ASTEE  
Yves Perrodin, Président du GRAIE

### 09h40 Introduction : chaîne trophique et multi-exposition – la part de l'eau

Yves Perrodin, ENTPE

### 09h50 Perception par les pêcheurs amateurs du risque lié à la chaîne trophique

Gilles Armani, Maison du fleuve Rhône

## SOURCES – VECTEUR EAU

### 10h05 Sources et stratégies de réduction des rejets de systèmes d'assainissement urbain

Samuel Martin, Département R&D, Suez Environnement

### 10h20 Transfert de polluants vers les milieux aquatiques

- Ecoulements en milieu agricole et produits phytosanitaires  
Nadia Carluer, Cemagref de Lyon
- Ruissellement urbain et micropolluants  
Jean-Luc Bertrand Krajewski, INSA Lyon

## 11h00 Pause

### 11h20 Effluents hospitaliers

- Identification des médicaments bioaccumulables et étude de leur écotoxicité  
Aurélien Brackers de Hugo, ENTPE – Faculté de Pharmacie de Lyon
- Procédés d'élimination des substances médicamenteuses selon les risques  
Christophe Dagot, Université de Limoges

## IMPACTS – MILIEUX ET CHAÎNE TROPHIQUE

### 12h00 Devenir des produits phytosanitaires – Prolifération algale et cyanobactéries : deux cas d'études en étangs

Dominique Vallod, ISARA

### 12h30 Comment les poissons se contaminent par les PCB ? Eléments de réponse pour quelques espèces d'eau douce

Marc Babut, Cemagref de Lyon

## 13h00 Déjeuner

## RISQUES – OUTILS D'IDENTIFICATION ET DE GESTION

### 14h30 Evaluation de réduction des impacts biologiques des rejets de stations d'épuration urbaines

Luis Castillo, Centre de Recherche sur l'Eau,  
VERI – Veolia Environnement Recherche et Innovation

### 15h00 Identification des sources de pollution fécale : application en milieu littoral

Michèle Gourmelon, IFREMER Brest

### 15h30 Evaluation du risque hydrique pour l'Homme : éléments de méthodologie

Olivier Catelinois, coordonateur de la CIRE Rhône-Alpes

### 16h00 Prise en compte du risque sanitaire dans les plans d'actions à différentes échelles

Guillaume Weber, DREAL Rhône-Alpes  
Nicolas Chantepy, Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse

### 16h35 Synthèse et conclusions

Jean Chappier, Grand Lyon  
Elodie Brelot, Graie

## 17h00 Fin de la journée



---

# Supports d'intervention

---



## **Introduction : Chaîne trophique et multi-exposition - la part de l'eau**

---

Yves PERRODIN, ENTPE





Eaux, chaîne trophique et santé

INTRODUCTION :  
CHAÎNE TROPHIQUE ET MULTI-EXPOSITION  
LA PART DE L'EAU

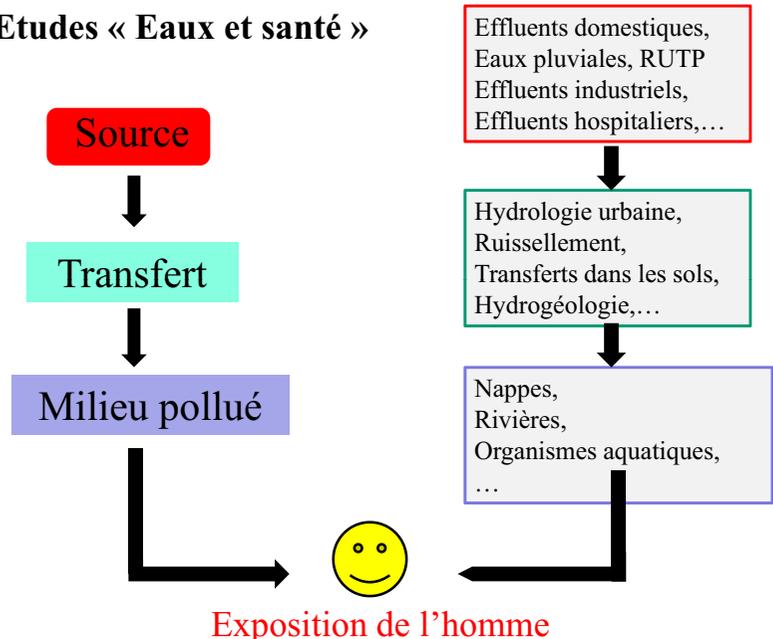
Yves PERRODIN  
ENTPE – L.S.E.



Lyon, jeudi 20 janvier 2011

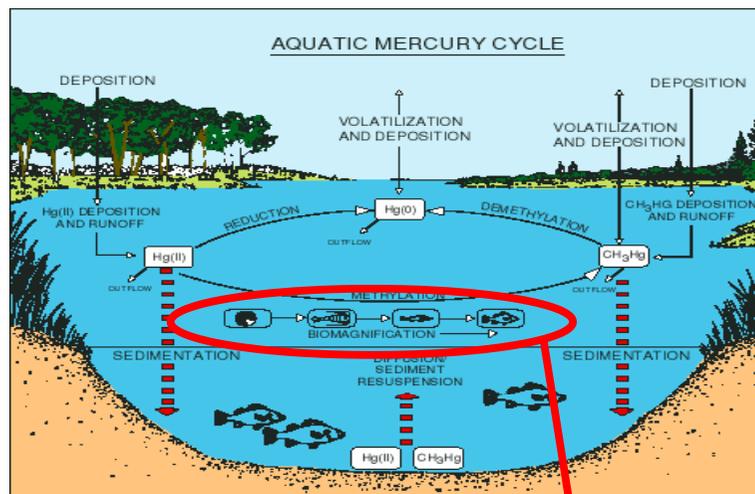


Etudes « Eaux et santé »



Eaux, Chaîne trophique & Santé

Cycle d'un polluant en milieu aquatique

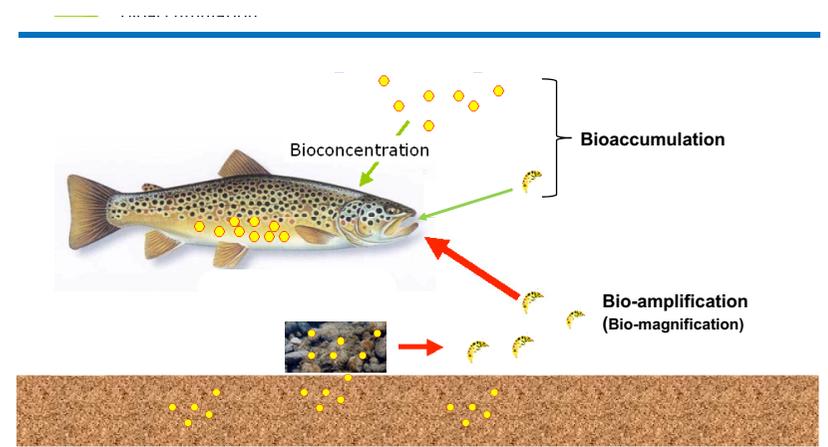


Chaîne trophique

Eaux, Chaîne trophique & Santé



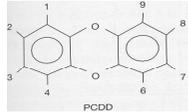
Bioconcentration, bioaccumulation et bioamplification



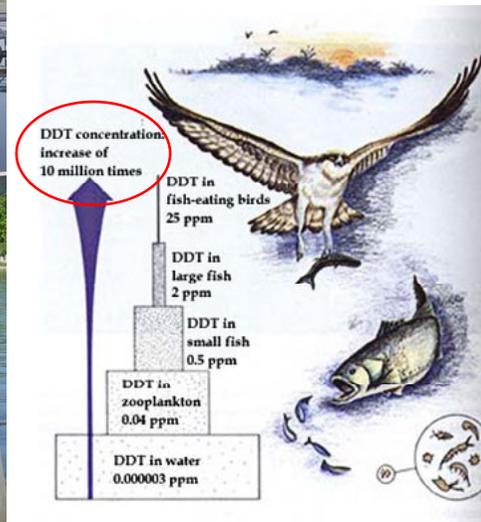
Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Principaux contaminants bio-accumulables

- HAP,
- Dioxines , PCB,...
- Certains métaux,
- Certains pesticides,
- Certains médicaments
  
- Certains pathogènes (phénomènes similaires)



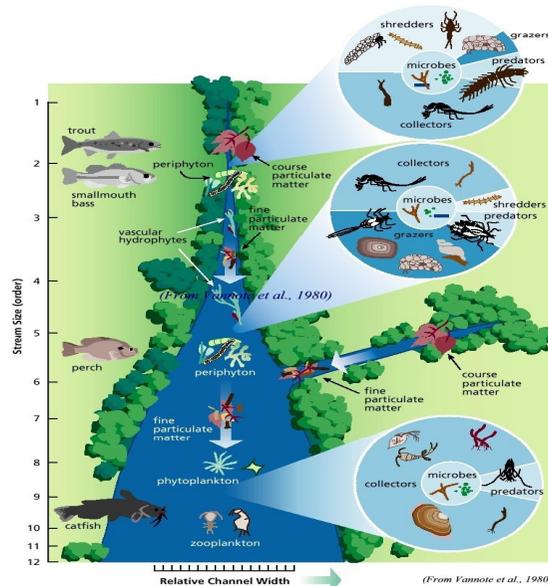
## Exemple du DDT



$\times 10^7$   
 $\times 700\ 000$   
 $\times 160\ 000$   
 $\times 13\ 000$

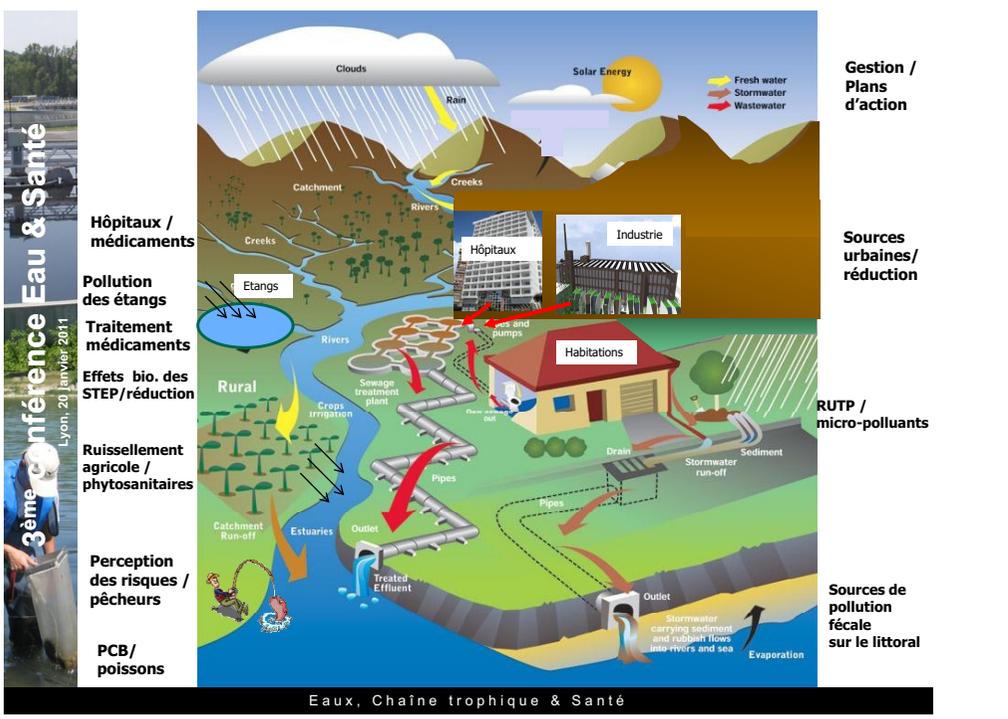
Copyright © 2003 Pearson Education, Inc. publishing as Benjamin Cummings

## Chaînes trophiques des cours d'eau



## Cycle de l'eau en milieu urbain et péri-urbain

### Programme de la 3<sup>ème</sup> conférence « Eau et santé »





## **Perception par les pêcheurs amateurs du risque lié à la chaîne trophique**

---

Gilles ARMANI, Maison du fleuve Rhône



# *Perception par les pêcheurs amateurs des risques liés à la chaîne trophique*

---

Gilles Armani, Maison du fleuve Rhône

Cette communication est issue d'un travail de pré-enquête ethnologique sur la perception des micro-polluants toxiques par les pêcheurs amateurs. Elle a été réalisée à partir d'une vingtaine d'entretiens semi-directifs auprès de pêcheurs amateurs sur le Rhône et la Saône en 2007. Le choix de cette population spécifique nous assurait de rencontrer des usagers du fleuve en contact direct et régulier avec l'eau et de dégager certaines singularités propres à ce collectif. L'objectif était de comprendre quelle était la perception des micro-polluants dans les cours d'eau par cette population et notamment quels sont leurs indicateurs de qualité de l'eau. Enfin, il s'agissait, à partir de l'analyse du discours extrait des entretiens, de construire un corpus d'hypothèses afin de poursuivre une recherche plus approfondie. Nous présenterons ici les premiers éléments d'interprétation.

Nous montrerons que les pêcheurs construisent leurs indicateurs de qualité de l'eau grâce à leurs sens. La vue est sollicitée en premier lieu. Les matières solides, les déchets qui encombrant l'environnement immédiat du pêcheur sont autant d'indicateurs d'une atteinte au milieu. Les taches d'huile, les mousses, les couleurs, indiquent une détérioration. La transparence est l'idéal bien que le pêcheur accepte la couleur brune révélatrice des orages en amont. Les odeurs nauséabondes attestent la présence de produits chimiques ou d'un processus de putréfaction. Le toucher, qu'il s'agisse du contact avec l'eau, de produits gras, des algues ou du corps d'un poisson, rend compte d'éventuelles dégradations.

Par ailleurs, la connaissance de la faune, de la flore et du fonctionnement des cours d'eau permet d'entrevoir des

dysfonctionnements, de comprendre des évolutions apparentes : diversité des espèces, recrudescence d'algues, couleur de l'eau. Des indices visuels, olfactifs, palpables interpellent le pêcheur.

C'est justement l'absence de signes sensibles de la pollution par les micro-polluants qui déroutent nos interlocuteurs. De fait, faute d'indicateur classique, le pêcheur perd son autonomie cognitive et s'en remet à des sources d'informations extérieures : scientifiques, médias et responsables politiques.

Les impacts sanitaires sont mal connus et cela induit des pratiques diverses. Nos interlocuteurs s'interrogent sur les effets possibles des micro-polluants dans l'eau du fleuve et sur la santé. Ils se plaignent du manque d'informations et ces dernières sont souvent contradictoires. Aussi, notons-nous trois types d'attitudes face au doute : le principe de précaution, la relativisation du danger par le raisonnement et enfin la désillusion et le fatalisme. De nombreuses questions restent posées quant aux risques liés à la chaîne trophique. Peut-on encore se baigner dans le Rhône, qu'en est-il des fruits et légumes arrosés par l'eau fluviale, le gibier d'eau est-il contaminé, tous les poissons le sont-ils à la même échelle ?

En fin de compte, ce travail d'enquête montre l'impérieuse nécessité d'améliorer le système d'information sur le risque lié aux micro-polluants. L'enjeu est de permettre l'adaptation des pratiques des pêcheurs mais également de toute personne susceptible de se trouver en bout de chaîne trophique potentiellement concernée par ce type de pollution. Il s'agit également de faire connaître plus précisément le circuit parcouru par le polluant dans les différents réseaux de la chaîne alimentaire pour une meilleure gestion du risque.



## PERCEPTION PAR LES PECHEURS AMATEURS DU RISQUE LIE A LA CHAINE TROPHIQUE

Maison du fleuve Rhône, Gilles Armani

## Une pré-enquête ethnologique

- Une méthode qualitative
  - Des entretiens semi-directifs avec une population spécifique et sur un territoire restreint
    - Comprendre la perception des micro-polluants par les pêcheurs amateurs et connaître leurs indicateurs de qualité de l'eau
    - Appréhender leurs pratiques à partir de leurs représentations sociales de la pollution
    - Une analyse de discours qui permet la construction d'un corpus d'hypothèses



## Des indicateurs de qualité de l'eau

- Les cinq sens sollicités
- La symbolique de l'eau
- L'observation du milieu



## L'absence d'indicateurs pour les micro-polluants

- Une pollution imperceptible
- La perte de l'autonomie cognitive





## Des impacts sanitaires mal connus : des pratiques diverses

- Une demande d'informations
- La consommation du poisson objet d'interrogations
  - Le principe de précaution
  - Relativiser par le raisonnement
  - Désillusion et fatalisme

Eaux, Chaîne trophique & Santé



## Risque et chaîne trophique : de nombreuses questions

- Les maillons de la chaîne
  - La faune
  - Irrigation des terres agricoles
  - Alimentation des plans d'eau
  - Eau et baignade
  - Eau potable ?

Eaux, Chaîne trophique & Santé



## Mise en perspectives

- Une pollution aux effets anxiogènes sur les pêcheurs amateurs
- La nécessité d'améliorer l'information
  - Pour une adaptation des pratiques
  - Une meilleure gestion du risque

Eaux, Chaîne trophique & Santé



## Merci de votre attention

Eaux, Chaîne trophique & Santé



## **Sources et stratégies de réduction des rejets de systèmes d'assainissement urbain**

---

Samuel MARTIN, Département R&D, Suez Environnement



# Sources et stratégies de réduction des rejets de systèmes d'assainissement urbain

---

Samuel Martin, Département R&D, Suez Environnement

Par le passé, l'impact des rejets des systèmes d'assainissement urbains sur les milieux récepteurs était plutôt qualifié en termes de risques d'inondations, de risques de toxicité ponctuelle, ou d'apport de nutriments au delà des capacités d'absorption du milieu. L'évolution réglementaire de ces dernières années pousse à considérer l'impact à plus long terme d'une série de composés métalliques et organiques du fait de leur effet toxique potentiel ou avéré sur les milieux aquatiques, en particulier par accumulation dans la chaîne trophique.

Ainsi, l'application de la Directive cadre sur l'eau (2000/60/CE ; EC, 2000), transposée en droit français (Loi 2004-338 du 21 avril 2004) vise à réduire ou supprimer les émissions d'une liste de 33 substances prioritaires, pour lesquelles des normes de qualité environnementale (NQE) ont été fixées dans les cours d'eau (Directive européenne 2008/105 du 16 décembre 2008, traduite en France par l'arrêté du 14/02/2010). Ces listes sont révisables, 19 substances étant actuellement à l'étude. Par ailleurs, des substances complémentaires peuvent être définies au niveau national pour préserver le bon état écologique des cours d'eau. Par exemple, en France des NQE additionnelles ont été fixées pour 4 métaux et 6 pesticides. En France, une série de textes vient renforcer cette réglementation européenne sur les micropolluants, dans le cadre du récent « plan micropolluants 2010 – 2013 », publié le 13/10/2010. On peut citer les Circulaires « ICPE » du 5 janvier 2009 et « STEP » du 29 septembre 2010, fixant un certain nombre de mesures de micropolluants par an à la sortie des installations. On peut citer également l'arrêté du 22/08/2010 fixant des NQE pour des substances « non prioritaires », qui peuvent être reprises lors d'arrêtés préfectoraux.

Différentes actions sont lancées pour répondre à ces objectifs dans le cadre du nouveau cycle 2010 – 2015 des Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE), adoptés par les Comités de Bassin. Les premières actions mises en oeuvre concernent la surveillance des rejets de micro-polluants, avec l'objectif de mieux cibler les actions de réduction des rejets à la source. Or, les sources de polluants en milieu urbain sont multiples : atmosphérique, ruissellement des eaux de pluies, activités industrielle et artisanale, rejets hospitaliers, particuliers, etc.

Depuis quelques années, de nombreuses études, inventaires et programmes de recherche ont permis d'améliorer la connaissance de la composition en micropolluants de ces différentes sources, et d'évaluer différentes stratégies pour réduire leurs émissions vers les milieux naturels.

Des résultats significatifs de quelques actions marquantes seront présentés :

- Emissions industrielles : action RSDE
- Flux de pharmaceutiques hospitaliers : projet MEDIFLUX
- Occurrence et traitabilité des micropolluants en STEP : projet AMPERES
- Flux et traitabilité des polluants dans les rejets pluviaux : projets ESPRIT, SCOREPP, TVGEP, SEGTEUP...
- Surveillance des rejets : projet SOQER

Les différents éléments obtenus convergent vers la nécessité de considérer la gestion du système d'assainissement de manière intégrée. La gestion globale du système d'assainissement semble constituer la meilleure option pour limiter l'impact de ses rejets sur le milieu récepteur.

Cette approche est la seule qui permette de pondérer et d'évaluer différentes stratégies :

- Tracking de pollution : recherche de sources industrielles, recherche d'infiltrations, établissement de nouvelles conventions de raccordement.
- Surveillance/monitoring du réseau en temps réel, de manière intégrée dans le temps, en amont / aval des principaux points de rejet.
- Traitements à la source / en réseau / traitements avancés en STEP.
- Gestion quantitative et qualitative du système d'assainissement.



Eaux, chaîne trophique et santé

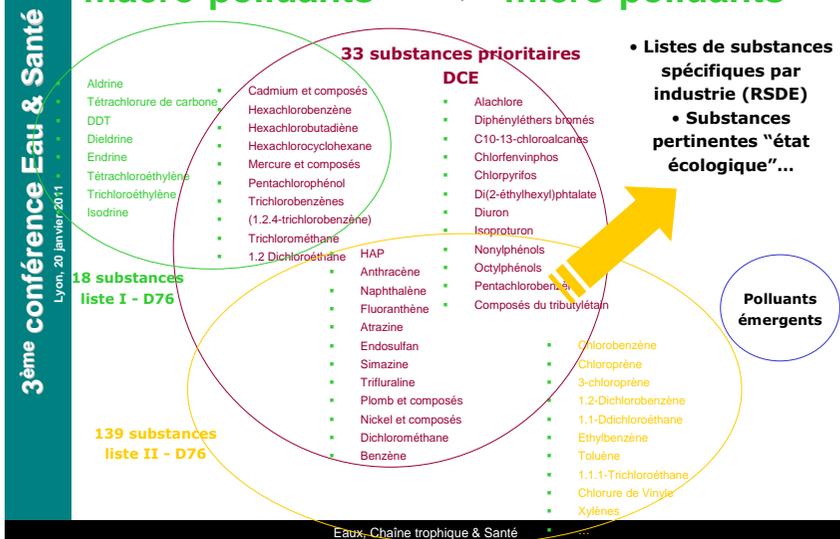
## Sources et stratégies de réduction des rejets de systèmes d'assainissement urbain

Samuel Martin  
Suez Environnement



Lyon, jeudi 20 janvier 2011

## Changement d'échelle : macro-polluants → micro-polluants



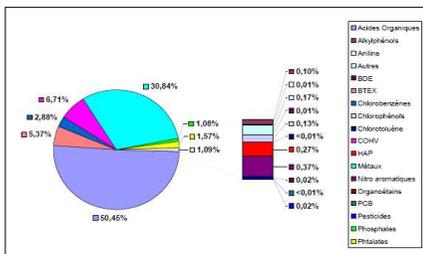
## Emissions industrielles

Principaux contributeurs sur près de 3000 sites ICPE (action RSDE) :

- Métaux (Zn, Cr) : tous types de rejets
- COHV : industries
- Acides organiques : industrie agro-alimentaire
- Chlorobenzènes : industrie textile, chimie
- BTEX, HAP : industrie pétrolière
- Nitro-aromatiques : industrie chimique
- Phtalates : tous types de rejets

### Circulaires ICPE et STEP en application :

- 2<sup>e</sup> phase de l'action RSDE en cours
- Préparation d'études technico-économiques pour réduction d'émissions des sites ICPE, avec traitements spécifiques attendus.

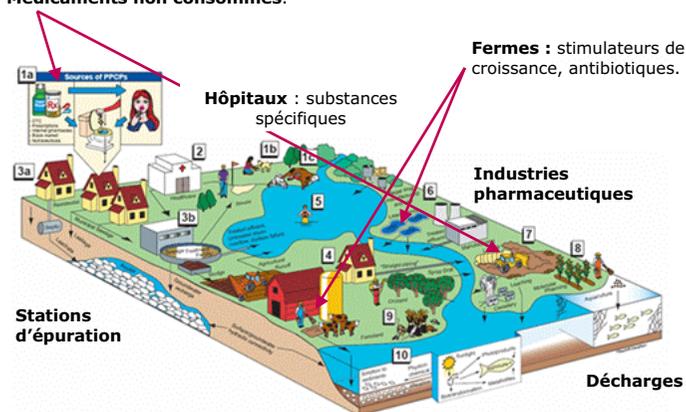


Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Sources de pharmaceutiques

### Diffuses par la population :

- viva urine et faecès.
- Médicaments non consommés.



Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Flux de pharmaceutiques hospitaliers

Projet MEDIFLUX : 5 hôpitaux, 2 STEP, 84 échantillons.

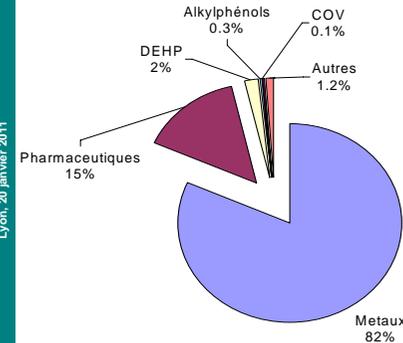
Flux relatifs hospitaliers vers STEP (projet MEDIFLUX) :

- ✓ Médicaments d'usage commun : ~ 2% du flux vers STEP.
- ✓ Médicaments d'usage hospitalier exclusif (ex : anticancéreux, produits de contraste iodés) : ~ 40 – 60 % du flux vers STEP domestiques, et non 100% (médecine ambulatoire).
- ✓ Médicaments d'usage hospitalier préférentiel (ex : antibiotiques, analgésiques) : jusqu'à 10% du flux vers STEP.

➔ Le traitement à la source doit être bien ciblé (projet PILLS).

## Flux de micro-polluants dans les stations d'épuration

Flux par famille (projet AMPERES)

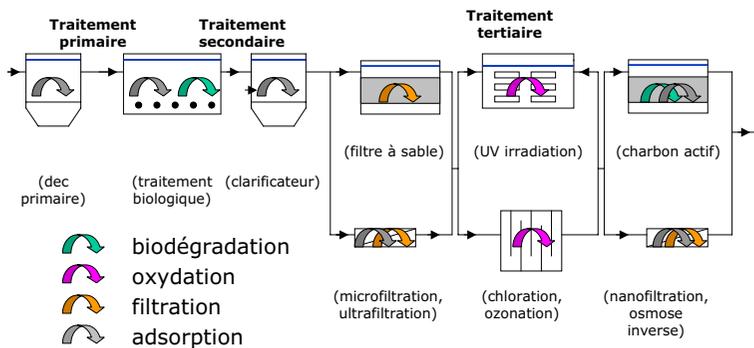


PROJET AMPERES :  
20 STEP, 250 échantillons, 128 substances.

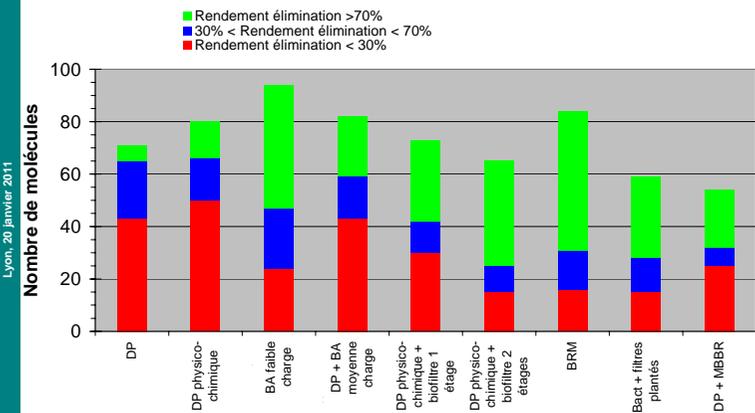
	Médiane (g / j EH)
Flux total	0.394
Métaux	0.321
Pharmaceutiques	0.059
DEHP	0.007
Alkylphénols	0.001
COV	0.0002
Autres	0.005

➔ Réduction de 80% de ce flux en STEP conventionnelle

## Mécanismes d'élimination des micro-polluants dans les STEP

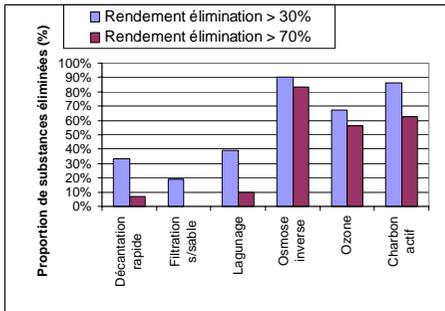


## Elimination filières primaires et secondaires



PROJET AMPERES

## Elimination complémentaire avec traitements tertiaires



- **Elimination mesurable en procédés de pré-filtration (filtre à sable, décantation rapide), substances liées aux MES.**
- **Rendements d'élimination > 70% pour de nombreux composés polaires avec osmose inverse, ozonation et charbon actif.**

PROJET AMPERES

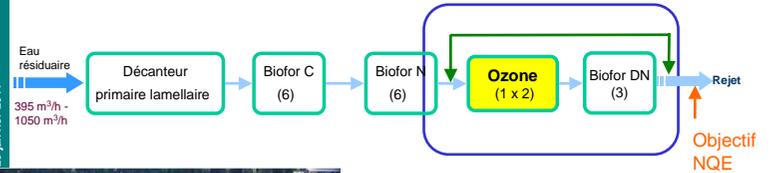


Eaux, Chaîne trophique & Santé

## SOPHIA ANTIPOLIS (06)

Premier Appel d'offres en France pour le traitement de micropolluants

Sophia Antipolis → réhabilitation/extension 24 000 à 50 000 EH



Garantie

Concentration ou rendement d'élimination des 33 substances prioritaires

Eaux, Chaîne trophique & Santé

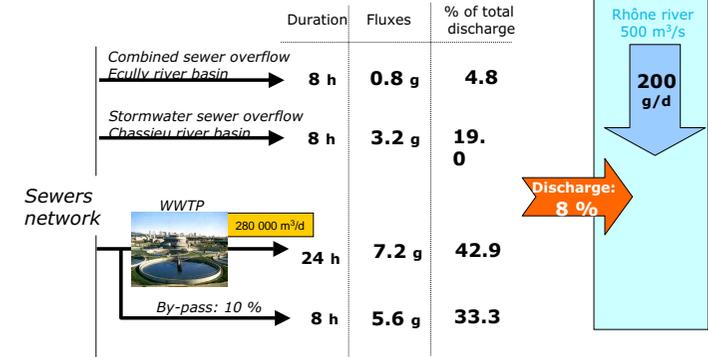
## Limites du traitement en STEP

- Environ 2/3 des substances éliminées sont majoritairement transférées vers les boues : filières adaptées à rechercher.
- Des traitements tertiaires peuvent être appliqués pour compléter l'élimination de micropolluants, mais :
  - ✓ Coût additionnel (jusqu'à + 100% pour osmose inverse)
  - ✓ Consommation d'énergie supplémentaire (ozonation, OI)
  - ✓ Sous-produits potentiels (procédés d'oxydation avancée)
  - ✓ Gestion des concentrats (OI) et de l'adsorbant
- ➔ Optimisation des procédés nécessaire (ex: projet ARMISTIQ).
- **Des solutions existent mais la réduction à la source est à privilégier !**

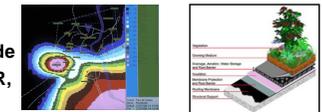
Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Gestion de la pollution pluviale

Ex : Fluoranthène (projet ESPRIT)

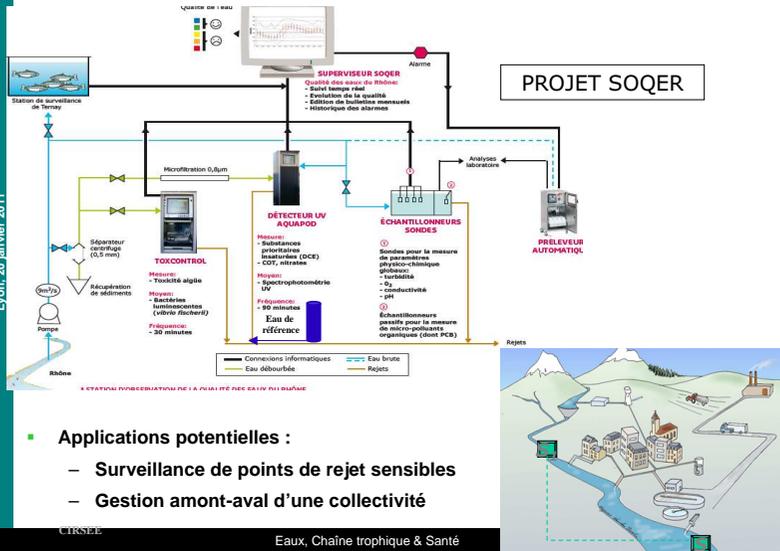


Solutions : gestion quantitative et qualitative des flux de pollution pluviale, application de techniques alternatives (sites OTHU, OPUR, projets SCORE-PP, TVGEP, SEGTEUP...)



Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Nouvelles stations de surveillance



## Une nouvelle approche pour les systèmes d'assainissement urbains

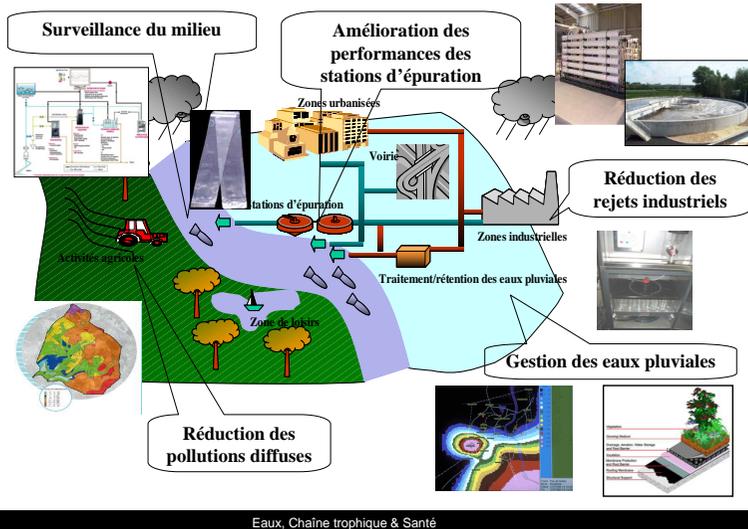
Vers une gestion globale du système d'assainissement, seule option logique vis à vis de l'impact sur le milieu récepteur, qui permette de pondérer et évaluer différentes stratégies :

- Tracking de pollution : recherche de sources industrielles, infiltrations, nouvelles conventions de raccordement.
- Surveillance en temps réel, intégrée dans le temps, amont / aval des principaux points de rejet.
- Traitements à la source / en réseau / avancés en STEP.
- Gestion quantitative et qualitative du système d'assainissement



Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Changement d'échelle : le bassin versant



# **Ecoulements en milieu agricole et produits phytosanitaires**

---

Nadia CARLUER, Cemagref de Lyon



# *Écoulements en milieu agricole et produits phytosanitaires*

---

Nadia Carluer, Cemagref de Lyon

Les produits de protection des plantes, également appelés produits phytosanitaires ou pesticides, sont utilisés, majoritairement en agriculture, pour préserver les cultures des adventices (herbicides), maladies, notamment cryptogamiques (fongicides) ou ravageurs (insecticides). Habituellement, une très faible proportion de la quantité de produits appliqués se retrouve dans les eaux, de quelques pour milles à quelques pour cents : néanmoins, ces valeurs modérées peuvent suffire à provoquer le dépassement des normes et la contamination des eaux par les produits phytosanitaires risque d'ailleurs d'être une des causes majeures de non atteinte du bon état des eaux visé par la Directive Cadre sur l'Eau. La limitation de cette contamination est toutefois une question complexe, de par les très nombreux facteurs – naturels, techniques, sociaux et économiques- qui contrôlent le devenir des pesticides dans les différents compartiments environnementaux. Une expertise scientifique collective réalisée par l'INRA et le Cemagref en 2005 (voir références) fait un point très complet sur cette question : on ne reprend ici que quelques points importants qui relèvent du domaine de compétence de l'équipe Pollutions diffuses, le transfert diffus des pesticides vers les milieux aquatiques.

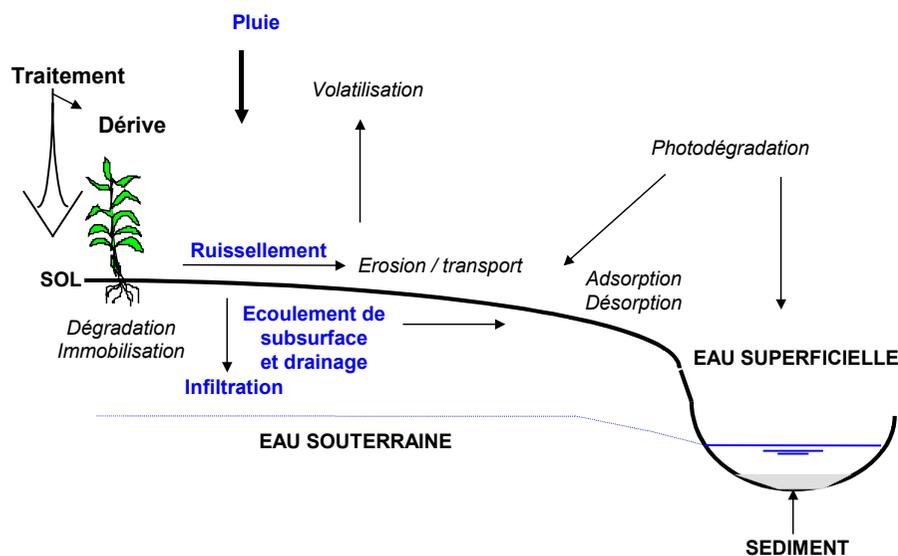
## ***Le transfert des pesticides dans les bassins versants***

La contamination des eaux par les pesticides peut avoir essentiellement deux sources : une origine ponctuelle, due à la manipulation des produits et au nettoyage des engins, et une origine diffuse, qui peut elle même être de deux ordres : la contamination directe des cours d'eau par les gouttelettes de pulvérisation lors des traitements (dérive), et la pollution diffuse d'origine hydrique, causée par l'entraînement des produits dans les eaux de ruissellement ou d'infiltration. Nous aborderons ici le dernier point, les pollutions ponctuelles et la dérive pouvant en grande partie être maîtrisées via des actions de formation et/ou des solutions techniques (notamment choix et réglage des pulvérisateurs).

Les facteurs qui influent sur le devenir des pesticides transportés par voie hydrique sont nombreux : les propriétés des molécules (aptitude à la fixation et à la dégradation) jouent un rôle, mais en interaction avec beaucoup d'autres paramètres du milieu physique et du climat, et avec les pratiques agricoles et l'aménagement du paysage. Les pesticides suivent les mouvements de l'eau. Leur rétention et leur dégradation sont conditionnées par la durée et la qualité du contact entre l'eau et les substrats qu'elle rencontre : l'infiltration lente, le contact avec des substrats riches en matière organique favorisent leur fixation et leur dégradation. A l'inverse, la circulation rapide de l'écoulement, à la surface du sol ou dans un milieu fissuré ou grossier ne permettra qu'une élimination limitée.

Ce fonctionnement du transfert, très sommairement présenté ici, a de nombreuses conséquences. On citera ici les suivantes pour leur importance pratique.

- Il y a une très forte variabilité inter-annuelle de l'importance des transferts, en particulier en relation avec l'importance et la date d'occurrence des pluies : le délai entre l'application des produits de traitement et les premiers mouvements de l'eau sur et dans le sol (ruissellement ou infiltration) joue un rôle déterminant et peut varier considérablement d'une année à l'autre. Il faut donc être très prudent dans l'interprétation de résultats de qualité de l'eau obtenus sur une courte période.
- En règle générale, la contamination des eaux de surface est plus importante que celle des eaux souterraines. Il y a cependant des exceptions, notamment les milieux karstiques où le ruissellement peut rejoindre directement l'aquifère par les engouffrements.



**Figure 1 : le transfert des pesticides, depuis le lieu de traitement jusqu'au milieu aquatique**

- On peut assurément réduire les contaminations par des mesures appropriées, mais il est illusoire de penser que l'on peut utiliser des pesticides et garantir qu'on n'en retrouvera jamais aucune trace dans le milieu aquatique. L'évaluation des risques de transfert, pratiquée dans le cadre de l'homologation des pesticides, ne peut suffire à prévenir toute pollution – même si on la perfectionnait encore beaucoup plus qu'elle ne l'est aujourd'hui : en effet, comme on l'a vu, de nombreux facteurs du milieu jouent un rôle et il est impossible de tester tous les scénarios issus de leur combinaison.
- Pour la même raison, pour choisir les actions correctives les mieux adaptées aux particularités d'un territoire donné (de la parcelle au bassin versant ou à la région), il est important de réaliser au préalable un diagnostic des causes et des risques de contamination, comme le préconisait la démarche élaborée par le CORPEN<sup>1</sup>. Du fait

<sup>1</sup> Le CORPEN était un comité sous double tutelle des Ministères chargés de l'Agriculture et de l'Ecologie. Il « élaborait et diffusait des recommandations concernant les pratiques agricoles

du rôle essentiel joué par les mouvements de l'eau dans le transfert des pesticides, cette démarche est centrée sur l'examen des circulations hydriques prépondérantes.

- Les éléments du paysage non traités et à couverture végétale pérenne (prairies, bandes enherbées, bois, haies, ...) qui interceptent et ralentissent les écoulements superficiels constituent des zones tampons aptes à réduire les transferts vers les eaux. Des milieux humides comme les mares ou étangs sont susceptibles de jouer un rôle analogue. Ces zones tampons, quand elles sont situées en bordure de cours d'eau, assurent en plus le rôle de « zone non traitée », destinée à éloigner la zone d'application du cours d'eau. Un arrêté<sup>2</sup> en fixe la largeur (5 m au minimum, définie pour chaque molécule sur des critères d'écotoxicité dans le cadre de l'homologation).

### Les actions correctives

L'ensemble des actions techniques possibles a été classé en trois groupes par l'expertise scientifique collective « Pesticides » :

- groupe I : les actions visant à réduire les transferts de pesticides : Améliorer les formulations et les buses pour limiter la dérive ; Agir sur les pratiques culturales (*adapter les dates de traitement ; utiliser des molécules moins mobiles ; limiter le ruissellement*) ; Mettre en place des zones tampons,
- groupe II : les actions visant à réduire l'utilisation en affinant les critères de décisions de traitement et de dosage des applications : Observation des bio-agresseurs (pièges) ; Développer les avertissements ; Utiliser des modèles de décision ; Alternier les molécules (pour éviter l'apparition de résistances ; Affiner les analyses bénéfice-risque
- groupe III : les actions visant à réduire l'utilisation des pesticides par le recours à des méthodes non chimiques et à rendre les systèmes de cultures moins dépendant de leur utilisation : Agir sur les itinéraires

contribuant à la réduction des pollutions et permettant une meilleure prise en compte des enjeux environnementaux » (site du CORPEN, accueilli sur le site du MEDAD). Dans le domaine des pesticides, le CORPEN a publié des brochures concernant le diagnostic aux différentes échelles, le désherbage, les bandes enherbées et les indicateurs pour les plans d'actions.

<sup>2</sup> Arrêté du 12 septembre 2006 relatif à la mise sur le marché et à l'utilisation des produits visés à l'article L. 253-1 du code rural (produits agro-pharmaceutiques).

techniques (*Lutte biologique ; Désherbage mécanique*) ; Agir sur les systèmes de production (*Allongement des rotations ; introduction de cultures assainissantes ; Sélection variétale*)

Les actions visant à limiter le recours aux pesticides sont bien évidemment les plus séduisantes, puisqu'elles règlent le problème à sa source. Il convient néanmoins d'insister sur le fait que seule une réduction drastique peut garantir une diminution très significative de la contamination. Par ailleurs, ces techniques sont encore assez peu maîtrisées et développées. Elles nécessitent la mise en œuvre de programmes scientifiques et techniques importants dont les retombées pratiques relèvent du moyen et long terme : l'enjeu, complexe, étant de viser, avec d'autres techniques que celles qui dominent actuellement, une productivité et une rentabilité agricole acceptables, à une échelle autre que celle de l'agriculture biologique que l'on connaît<sup>3</sup>.

Dans un premier temps, ces actions se cantonneront très probablement à des territoires limités à enjeu fort (bassin d'alimentation d'AEP par exemple), où la perte de rentabilité économique pourra être compensée par des financements spécifiques. A l'inverse, les actions visant à limiter les transferts ou à perfectionner le raisonnement du traitement sont actuellement diversifiées et mieux connues. Il reste cependant encore à faire, en termes scientifiques et techniques pour que leur maîtrise soit totalement satisfaisante. Il y a également des efforts importants à fournir (et c'est aussi vrai pour les pollutions ponctuelles) pour que les acquis actuels soient effectivement mis en pratique à une échelle suffisante pour produire des effets. Il convient d'insister sur ce dernier point : si ces techniques n'ont pas le caractère séduisant des premières et sont susceptibles de donner des résultats variables (en particulier en fonction des conditions climatiques), elles sont par contre susceptibles d'être développées rapidement si on s'en donne les moyens et d'apporter des réponses assez rapides face à des échéances rapprochées (« bon état écologique » de la DCE).

Ces actions dans leur ensemble devraient être évaluées dans un cadre plus large que la stricte considération de la pollution des milieux par les pesticides :

- dans la perspective plus complète des écobilans (ou analyse des cycles de vie). Un exemple très limité, mais illustratif, est donné par le désherbage mécanique confronté au désherbage chimique : le premier limite sensiblement l'utilisation des herbicides, mais est bien plus consommateur en carburant.
- enfin, dans une perspective complète de durabilité, en incluant les questions socio-économiques, envisagées en prenant en compte l'ensemble des filières et le contexte général.

## Références

**Expertise Scientifique Collective INRA-Cemagref (2005)** : « Pesticides, agriculture et environnement : réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux » (décembre 2005).

*Disponible en ligne sur le site de l'INRA :*

[http://www.inra.fr/l\\_institut/missions\\_et\\_strategie/les\\_missions\\_de\\_l\\_inra/eclairer\\_les\\_decisions/pesticides\\_agriculture\\_et\\_environnement](http://www.inra.fr/l_institut/missions_et_strategie/les_missions_de_l_inra/eclairer_les_decisions/pesticides_agriculture_et_environnement).

Pour ce qui concerne le sujet traité ici, voir la synthèse et les chapitres 3 (transferts) et 6 (actions techniques) du rapport complet.

**CORPEN (2007)**. Les fonctions environnementales des zones tampons. Les bases scientifiques et techniques des fonctions de production des eaux.

*Disponible en ligne sur le site du Ministère en Charge de l'Environnement.*

---

Voir à ce sujet les résultats de l'étude récente menée par l'INRA sur les voies envisageables pour réduire l'usage des pesticides :

[http://www.inra.fr/l\\_institut/etudes/ecophyto\\_r\\_d/ecophyto\\_r\\_d\\_resultats](http://www.inra.fr/l_institut/etudes/ecophyto_r_d/ecophyto_r_d_resultats).<sup>3</sup>



# ÉCOULEMENTS EN MILIEU AGRICOLE ET PRODUITS PHYTOSANITAIRES

Nadia Carluer, Cemagref. UR Milieux Aquatiques, Ecologie et Pollutions  
Equipe Pollutions diffuses



Lyon, jeudi 20 janvier 2011

## Contexte

- Deux principaux types de polluants en milieu agricole :
  - Nutriments : azote, phosphore ....
  - Produits phytosanitaires : herbicides, fongicides, insecticides, nématicides, ...
- Caractéristiques des phytosanitaires :
  - Se dégradent. **DT50**
  - S'adsorbent. **Koc**

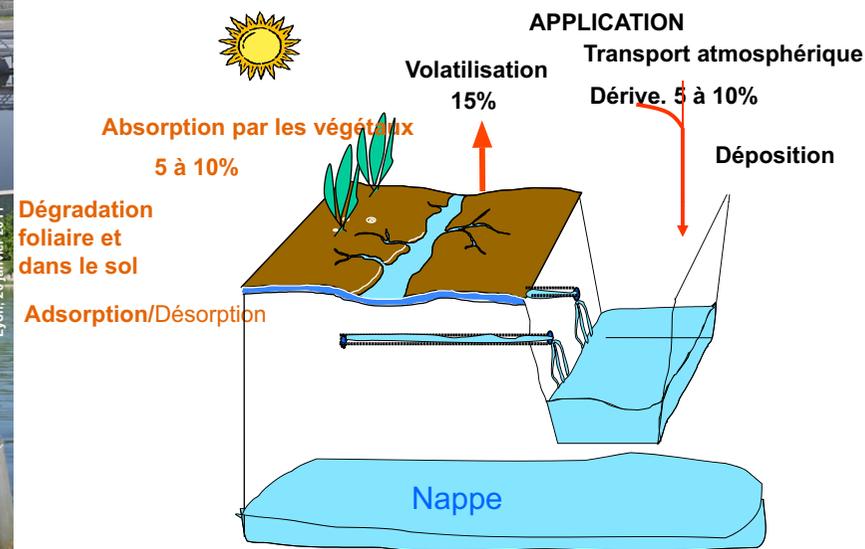
Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Contexte

- Deux principaux types de pollutions :
    - Pollutions ponctuelles : au moment de la manipulation
      - Préparation de la bouillie,
      - Application : dérive de pulvérisation
      - Élimination du fond de cuve
      - Rinçage du matériel
      - Produits non utilisés
- Technique / Formation Plus ou moins maîtrisable*
- Pollutions diffuses :
    - Entraînement par volatilisation
    - Entraînement au cours d'une pluie
- Diffus : plus difficile à maîtriser*

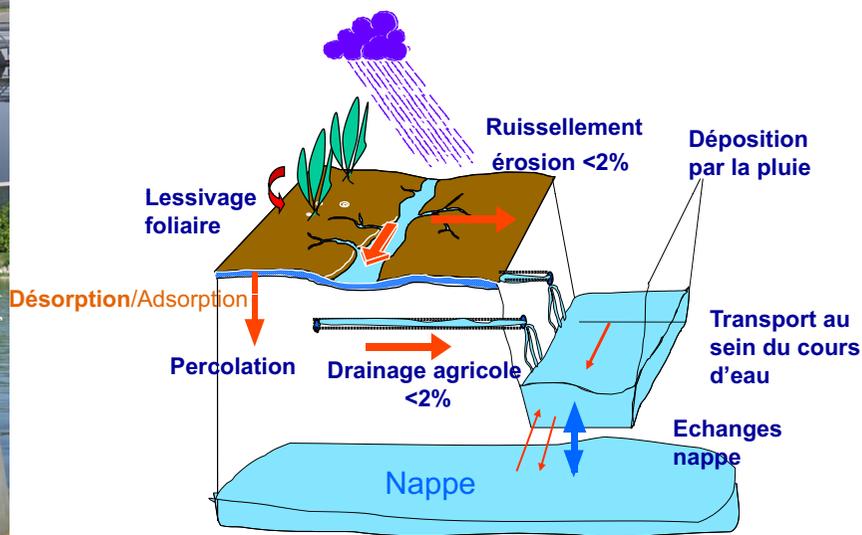
Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Processus à l'œuvre : dissipation



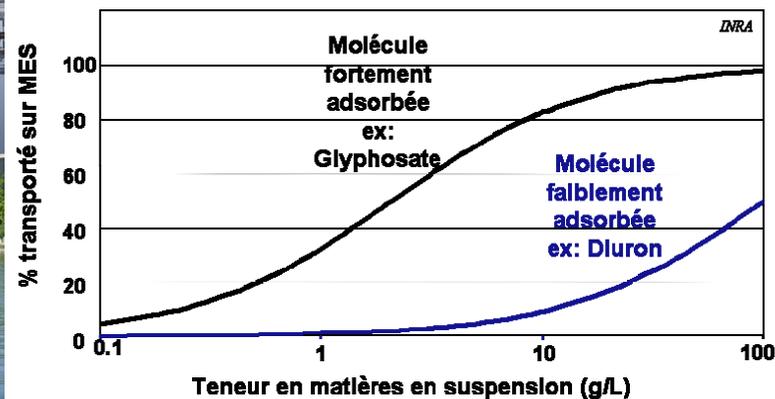
Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Processus à l'œuvre : transferts



Eaux, Chaîne trophique & Santé

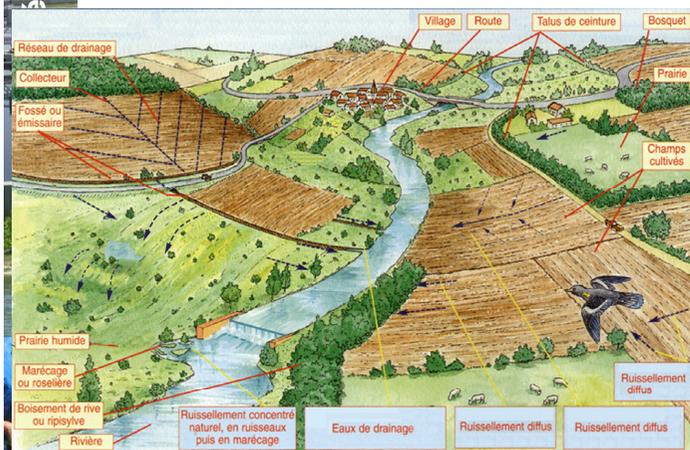
## Forme du transport : dissout /particulaire



- Fraction dissoute majoritaire sauf en cas de forte érosion
- Évolution possible avec évolution des AMM

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Echelle du bassin versant



**Influence du réseau anthropique : haies, talus, routes, fossés, dispositifs enherbés ou boisés, zones humides, parcelles drainées ....**

Eaux, Chaîne trophique & Santé

- Parcelle : pratiques aménagements intra-parcellaires drainage
- Versant : aménagements inter-parcellaires
- Bassin versant : aménagements liés au réseau hydrographique

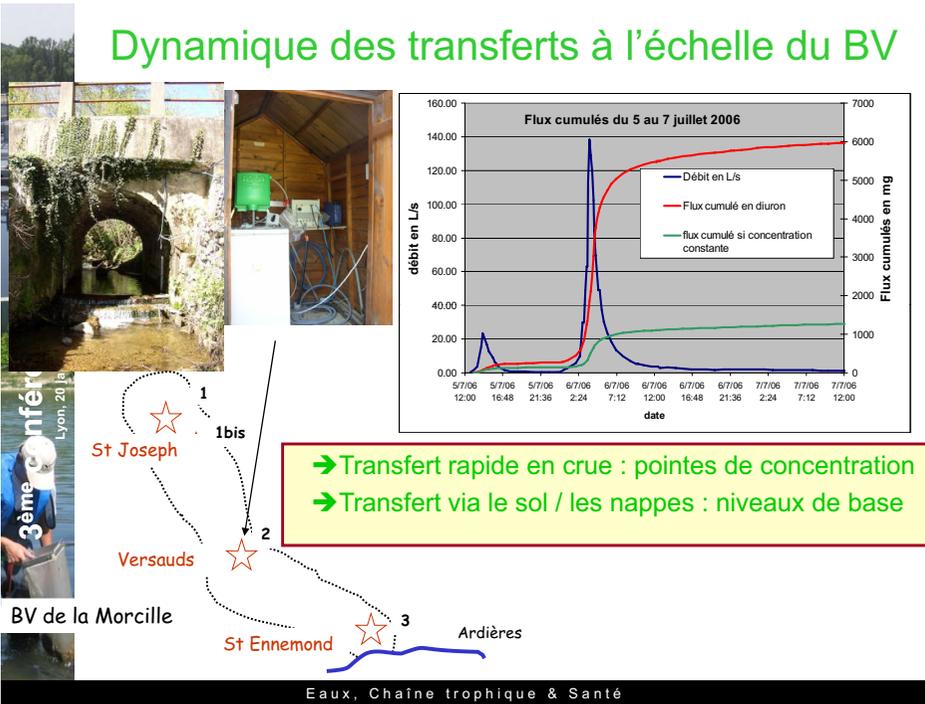
## Gammes de flux de la parcelle au BV

Site / substance	BV Hydrologie	Pertes parcellaires	Pertes au BV	Référence
BV viticole méditerranéen Diuron	91 ha transferts rapides avec ré-infiltration dans les fossés	Par ruissellement hortonien de 1,3 à 4,8 % Cmax 700 µg/L	0,50 % Cmax 500 µg/L	Bilan 97 Louchart, 1999
BV en plateau crayeux à couverture limoneuse grandes cultures, bois, prairies Isoproturon Diflufenicanil	90 à 1070 ha substrat karstique à processus de réinfiltration important	Par ruissellement hortonien 0,1 à 4,8 % Cmax : 340 µg/L	de 0 à 0,002% Cmax : 12 µg/L	Bilans 97-98 Lecomte, 1999
BV à sols limoneux drainés à 90 % grandes cultures, bois, prairies Atrazine Métolachlore	3470 ha transferts par drainage agricole et ruissellement sur sol saturé sans effet tampon de nappe	Par ruissellement et drainage agricole de 1,2 à 1,8 % Cmax : 53 µg/L	0,15 à 0,3 % Cmax : 15 µg/L	Bilans 90-92 Ng et al., 1995
BV viticole alsacien à sols bruns calcaire loessique plus ou moins profond Glyphosate	40 ha BV « sec » écoulement en période de crue ruissellement <2%	Par ruissellement hortonien de 0,04 à 0,27% Cmax > 1000µg/L	0,09% Cmax 70 µg/L	Bilan 2004 Domange, 2005

- Taux de transfert < 5% à la parcelle et 0,5% au BV
- Facteurs d'atténuation des flux « parcelle → BV » de 3 à 2000
- Facteurs d'atténuation des concentrations de 1,5 à 180

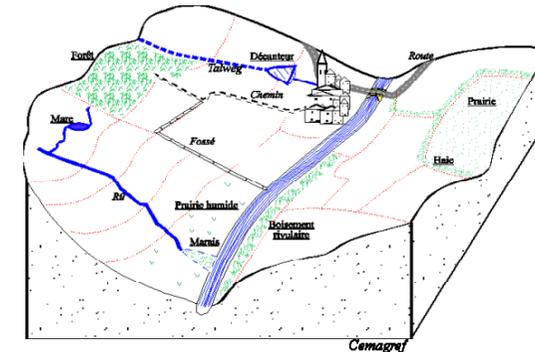
Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Dynamique des transferts à l'échelle du BV



## Limiter les transferts

- Améliorer l'évaluation a priori du risque (homologation) – p.m.
- Agir sur les pratiques dans la parcelle
- Limiter les transferts dans le bassin versant



## Zones tampons : définition

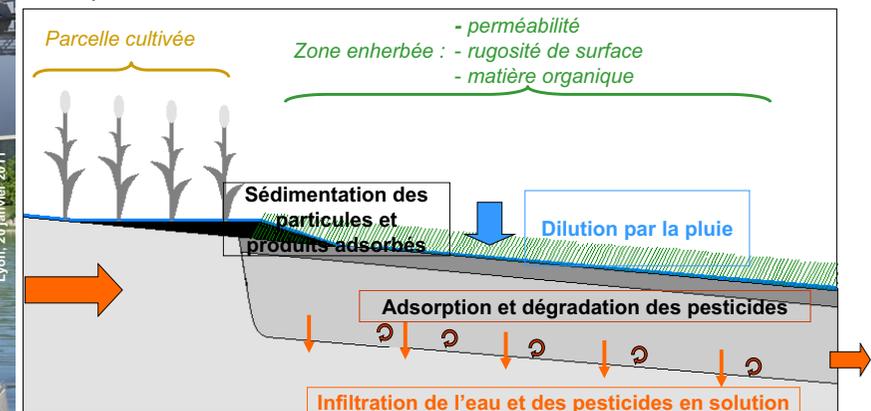
**Zone tampon** : toute zone intermédiaire qui peut retenir les pesticides



Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Fonctionnement des zones tampons enherbées

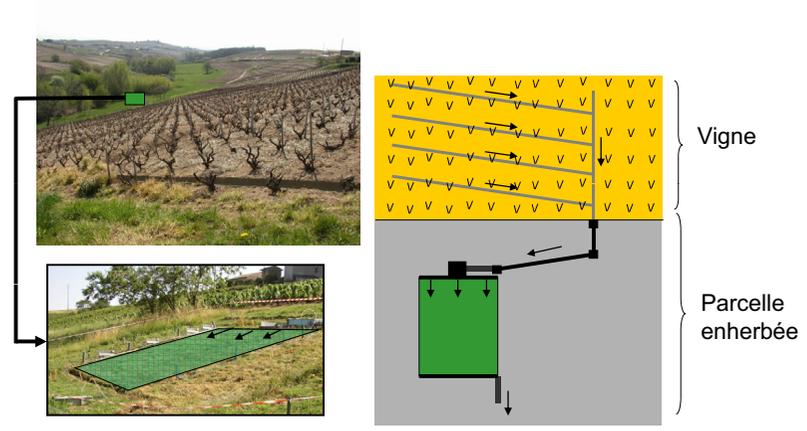
- Propriétés physiques et chimiques favorables à la dissipation des flux polluants



→ Quid du devenir des produits infiltrés ?

Eaux, Chaîne trophique & Santé

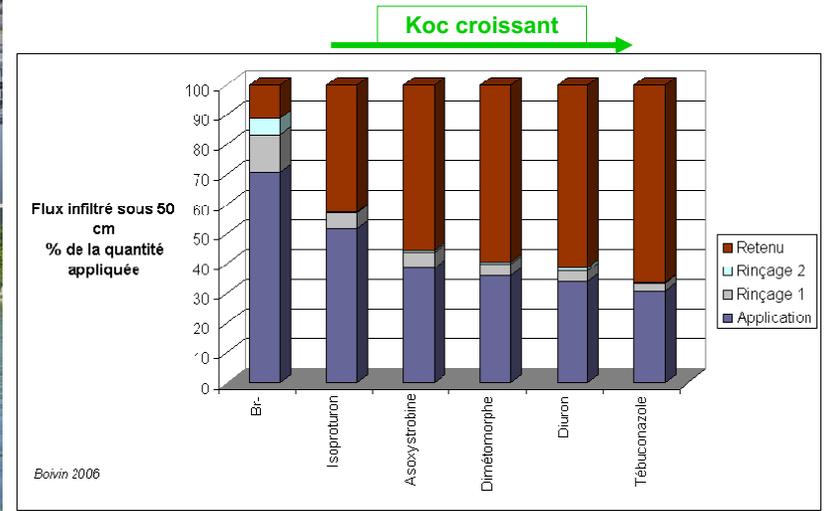
## Dispositif expérimental en Beaujolais viticole



Ratio Surface de vigne / Surface enherbée = 117 / 1

Thèse de J.-G. Lacas, 2005 et post doctorat d'A. Boivin, 2006

## Réduction des flux totaux infiltrés



→ 42 à 66 % de la quantité de pesticides appliquée reste localisée dans les 50 premiers cm du sol selon le Koc

## Conclusions sur les zones tampons enherbées

- Efficacité vis à vis du ruissellement :
  - Variable, mais souvent > 90%
  - Rôle majeur de l'infiltration
  - Concerne toutes les substances
- Rétention des substances infiltrées :
  - Une efficacité non négligeable, mais pas totale
  - Fonction de la capacité d'adsorption des substances, de la rapidité de l'écoulement, de la teneur en MO

(Photo AREAS)



Concentration de l'écoulement



Compaction du sol

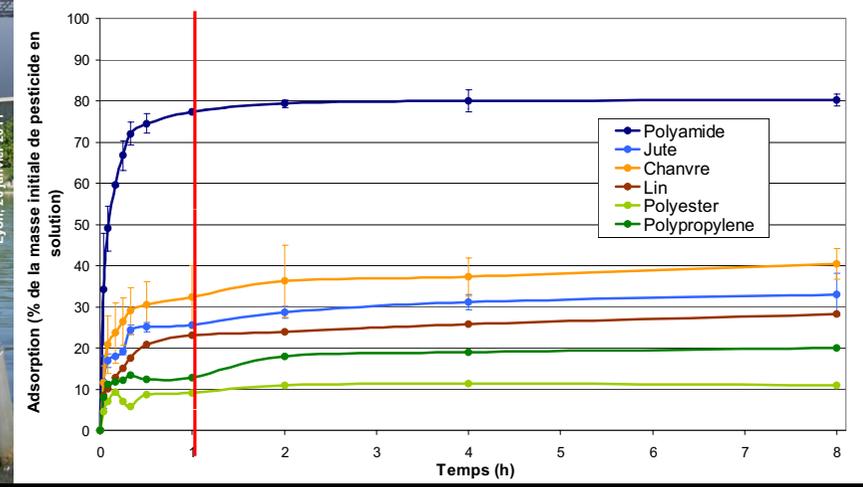


Hydromorphie

Dans certains cas, les zones tampons enherbées ou boisées ne sont pas suffisantes  
 → D'autres types de zones tampons doivent être utilisées en complément : bois humides, zones humides construites, géotextiles par exemple.

## Les géotextiles, un type de zone tampon adapté au milieu urbain ?

- Comparaison des cinétiques : DIU





# **Ruissellement urbain et micropolluants**

---

Jean-Luc BERTRAND KRAJEWSKI, INSA de Lyon



# Ruissellement urbain et micropolluants - Note de synthèse du projet ESPRIT

---

Jean-Luc Bertrand-Krajewski, Université de Lyon, INSA Lyon, LGCIE

## ENJEUX ET PROBLEMATIQUE, ETAT DE L'ART

De nombreuses études consacrées à la pollution des rejets urbains par temps de pluie (RUTP), menées depuis les années 1970, ont montré l'importance de cette pollution et son impact sur les milieux aquatiques (Sartor *et al.* 1974, Novotny *et al.* 1985, Chebbo 1992, Saget 1994, Gromaire-Mertz 1998, Burton and Pitt 2002b). Ces études se sont focalisées principalement sur les nutriments (azote, phosphore, etc.), les métaux, les HAP et les matières en suspension (Burton et Pitt 2002b, Brown et Peake 2006, Gasperi 2007). Les connaissances concernant l'émission, l'occurrence, le transfert et le devenir d'autres contaminants organiques (pesticides, alkylphénols, etc.) dans les eaux pluviales restent insuffisantes (Rule *et al.* 2006).

Un nombre croissant d'études consacrées aux sources des flux polluants (dépôts atmosphériques, ruissellement sur les toitures et les chaussées, eaux usées de temps sec, etc.) a été réalisé pour les métaux et les HAP (Davis *et al.* 2001, Sörme et Lagerkvist 2002, Kafi-Benyahia 2006), alors que peu de données sur les flux de micropolluants organiques tels que les pesticides ont été obtenues. Ces rejets sont donc importants à prendre en considération dans les plans de gestion et de traitement des eaux car ils induisent de nombreuses perturbations des milieux aquatiques. Cette tâche s'avère ardue car ces rejets présentent une grande variabilité spatio-temporelle en termes de qualité et de quantité et une grande incertitude dans leur évaluation.

## APPROCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

Le projet ESPRIT a pour but de contribuer à la connaissance des concentrations et des flux de substances prioritaires transitant dans les rejets urbains par temps de pluie produits par deux bassins versant

urbains, à l'échelle de l'événement pluvieux. Les principaux objectifs sont les suivants :

- Identification et quantification des substances prioritaires dans les RUTP sur deux sites expérimentaux du Grand Lyon : un réseau séparatif pluvial à Chassieu et un réseau unitaire à Ecully. Cet objectif inclut i) une étude de la répartition entre les phases dissoute et particulaire des substances prioritaires dans les RUTP ; ii) une caractérisation physique des particules en suspension rejetées vers le milieu naturel ;
- Estimation des flux polluants pour quatre compartiments du cycle urbain de l'eau contribuant aux RUTP: retombées atmosphériques sèches, eaux météoriques, eaux usées de temps sec et surfaces des bassins versants ;
- Modélisation des flux polluants à l'échelle de l'événement pluvieux.

Les campagnes de mesure ont été effectuées sur deux sites expérimentaux sur le territoire du Grand Lyon, à Ecully et Chassieu.

## CONCLUSIONS

Le projet ESPRIT a permis d'acquérir une première base de données sur les substances prioritaires dans les retombées sèches, les eaux météoriques et les RUTP dans les fractions dissoute et particulaire. Ces données ont permis de prendre en compte différents compartiments du bassin versant, et d'estimer les apports de chaque compartiment à la masse totale estimée dans les RUTP. Néanmoins, des limites et un certain nombre de questions restent à approfondir.

Au niveau de la modélisation, les résultats montrent qu'il est plus facile d'obtenir un modèle satisfaisant de masses ou flux événementiels qu'un modèle de concentrations moyennes événementielles : un modèle de

masses ou de flux est obtenu pour quasiment tous les polluants concernés. Ce n'est pas le cas pour les modèles de concentrations moyennes événementielles : des performances satisfaisantes ne sont observées que pour environ la moitié des polluants concernés. Cela s'explique par le fait que la masse et le flux événementiels sont fortement dépendants du volume événementiel alors que d'autres variables, en plus du volume, contrôlent la concentration moyenne événementielle.

Le projet ESPRIT a permis de fournir des résultats nouveaux et importants sur les concentrations et les flux de polluants prioritaires dans les rejets urbains de temps de pluie, non seulement aux exutoires des bassins versants, mais aussi, et pour la première fois, en termes de contributions relatives de différentes sources (retombées atmosphériques sèches, eaux météoriques, eaux de temps sec, surfaces des bassins versants). Une première base de données de très bon niveau est désormais disponible (plus de 100 échantillons), qui a permis d'établir des modèles prédictifs performants pour l'ensemble des polluants analysés. Le projet a également permis l'application et le développement de méthodes analytiques présentant soit des limites de quantification plus performantes que la plupart des études antérieures, soit des possibilités d'analyse des polluants organiques en phase particulaire avec des échantillons beaucoup plus faibles.

### Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'action de recherche ESPRIT du projet RHODANOS du pôle de compétitivité Axelera « Chimie Environnement ». Les partenaires sont : INSA-Lyon (coordinateur), Cemagref-Lyon, SCA-CNRS, CIRSEE-Suez-Environnement, SDEI-Lyonnais des Eaux et le Grand Lyon. Le projet est financé par la Région Rhône-Alpes, le Grand Lyon, le FCE - Fonds de Compétitivité des Entreprises, Suez Environnement et l'ANRT. Nous remercions L. Dherret du Cemagref de Lyon pour les analyses de métaux et L. Wiest du SCA-CNRS pour l'analyse des substances organiques. Site internet du projet : [www.esprit-rhodanos.fr](http://www.esprit-rhodanos.fr).

### Références bibliographiques

- Brown J.N. and Peake B.M. (2006) Sources of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban stormwater runoff. *Science of the Total Environment*, 359: 145-155.
- Burton G. A. and Pitt R. (2002b) "Stormwater effects handbook, a toolbox for watershed managers scientists and engineers". CRC Press, 911 p.
- Chebbou G. (1992). *Solides des rejets pluviaux urbains – Caractérisation et traitabilité*. Thèse de doctorat : École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France, 410 p.
- Davis A.P., Shokouhian M. and Ni S. (2001) Loading estimates of lead, copper, cadmium and zinc in urban runoff from specific sources. *Chemosphere*, 44(5): 997-1009.
- Gasperi J. (2007) *Introduction et transfert des hydrocarbures à différentes échelles spatiales dans le réseau d'assainissement parisien*. Thèse de doctorat : Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France, 264 p.
- Gromaire-Mertz M.-C. (1998) *La pollution des eaux pluviales urbaines en réseau d'assainissement unitaire: caractéristiques et origines*. Thèse de doctorat : Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France, 507 p.
- Kafi-Benyahia M. (2006). *Variabilité spatiale des caractéristiques et des origines des polluants de temps de pluie dans le réseau d'assainissement unitaire Parisien*. Thèse de doctorat : Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France, 342 p.
- Lamprea Maldonado K. (2009) *Caractérisation et origine des métaux traces, hydrocarbures aromatiques polycycliques et pesticides transportés par les retombées atmosphériques et les eaux de ruissellement dans les bassins versants séparatifs péri-urbain*. Thèse de doctorat: Ecole Centrale de Nantes, France, 244 p.
- Novotny V., Sung H.M., Bannerman R. and Baum K. (1985) Estimating nonpoint pollution from small urban watersheds. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 57:339-348.
- Rule K.L., Comber S.D.W., Ross D., Thornton A., Makropoulos C.K. and Rautiu R. (2006). Diffuse sources of heavy metals entering an urban wastewater catchment. *Chemosphere*, 63: 64-72.
- Saget A. (1994). *Base de données sur la qualité des rejets urbains de temps de pluie : distribution de la pollution rejetée, dimensions des ouvrages d'interception*. Thèse de Doctorat : Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France, 227p + annexes.

- Sartor J.D., Boyd G.B. and Agardy F.J. (1974) Water pollution aspects of street surface contaminants. *JWPCF*, 46(3):458-467.
- Sörme L. and Lagerkvist R. (2002) Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm. *Science of the Total Environment*, 298: 131-145.
- Zgheib S. (2009) *Flux et sources de polluants prioritaires dans les eaux urbaines en lien avec l'usage du territoire*. Thèse de doctorat : Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France, 349 p.

Cette note de synthèse a été établie à partir des deux thèses de doctorat effectuées dans le cadre du projet ESPRIT, dont les versions PDF sont téléchargeables sur le site internet du projet à l'adresse [www.esprit-rhodanos.fr](http://www.esprit-rhodanos.fr) :

- Becouze-Lareure C. (2010). *Caractérisation et estimation des flux de substances prioritaires dans les rejets urbains par temps de pluie sur deux bassins versants expérimentaux*. Thèse de doctorat : INSA Lyon, novembre 2010.
- Dembélé A. (2010). *MES, DCO et polluants prioritaires des rejets urbains de temps de pluie : mesure et modélisation des flux événementiels*. Thèse de doctorat : INSA Lyon, octobre 2010.



## **Identification des médicaments bioaccumulables et étude de leur écotoxicité**

---

Aurélien BRACKERS DE HUGO, ENTPE – Faculté de Pharmacie de Lyon



# *Identification de médicaments bioaccumulables dans les effluents hospitaliers et étude de leur écotoxicité*

---

Aurélien Brackers de Hugo, ENTPE - Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques de Lyon

Les rejets de résidus médicamenteux dans les cours d'eau naturels sont à la base d'une pollution environnementale qui peut affecter les cours d'eau et les nappes phréatiques. Bien que des recherches soient mises en œuvre depuis une dizaine d'années, l'appréhension de ce risque est difficile. Les experts s'accordent cependant à dire que les concentrations en médicaments observées dans l'environnement sont trop faibles pour entraîner un risque d'intoxication aiguë. L'impact de cette pollution doit donc être approché *via* une évaluation du risque chronique, et notamment *via* la prise en compte du risque lié à la bioaccumulation des substances concernées dans les organismes et les chaînes trophiques.

C'est dans ce contexte de réflexion et pour répondre à une demande des Hospices Civils de Lyon (HCL) que Julien JEAN a mis en place une méthode de priorisation des molécules pharmaceutiques en fonction de leur potentiel de bioaccumulation. Celui-ci a été évalué principalement à l'aide du facteur de bioconcentration, lui-même modélisé à partir de la structure chimique du composé (QSAR) et du pH environnemental.

Parmi les 960 substances médicamenteuses consommées et rejetées aux HCL, 70 composés ont été identifiés comme étant fortement bioaccumulables et donc potentiellement à risque pour l'environnement. Toutes les classes pharmacologiques figurent parmi cette sélection mais les hormones, les médicaments cardiovasculaires, les antihistaminiques, les antiviraux, les antifongiques et les antidépresseurs y sont les plus fortement représentés. Une analyse plus approfondie de ces 70

composés (biodégradabilité, mécanisme d'action et pharmacocinétique) ainsi que la prise en compte de données de consommation au sein des HCL ont permis d'identifier 14 molécules prioritaires (dans le cadre d'un scénario d'exposition propre aux HCL). Parmi elles, l'amiodarone, le dextropropoxyphène, le tamoxifène et l'éthinylestradiol ont déjà été sélectionnées dans des listes prioritaires d'autres auteurs sur la base de critères différents de celui de la bioaccumulation.

Afin de mieux comprendre l'impact sur l'environnement de la présence de traces de médicaments bioaccumulables dans les effluents, il convient désormais de se concentrer sur les molécules issues de cette liste restreinte.

Pour contribuer à l'évaluation des risques écotoxicologiques liés aux médicaments présents dans les effluents hospitaliers nous proposons ensuite une approche innovante en matière de mesure d'écotoxicité constituée par l'étude *in vitro* de la cytotoxicité et de la génotoxicité (toxicité sur l'ADN) de ces molécules sur des lignées cellulaires de poissons. Nous avons commencé cette étude avec le mitotane, un cytotoxique administré à l'hôpital pour les cancers corticosurrénaux métastatiques ou inopérables. Ses propriétés de bioaccumulation (BCF = 7330), sa faible biodisponibilité et sa forte toxicité potentielle en font un bon marqueur écotoxicologique des effluents hospitaliers.

Nous avons exposé à une large gamme de concentrations de mitotane une lignée de branchies (*RTG-W1*) et une lignée hépatique (*PLHC1*). Les deux lignées cellulaires ont montré des sensibilités comparables avec des  $CE_{10}$  à 18 et 6  $\mu\text{g/L}$  respectivement pour l'étude de la cytotoxicité du

mitotane. Il s'agit de résultats très supérieurs à la concentration d'exposition des cellules de poissons du cours d'eau récepteur, évaluée par ailleurs. Il ne semble donc pas y avoir de risque de toxicité cellulaire aiguë à ce niveau d'exposition. Nous avons alors décidé d'utiliser un autre marqueur : la génotoxicité, mesurée à l'aide du test des comètes après des expositions de plusieurs semaines. Les premiers résultats obtenus montrent ainsi l'existence d'un autre type de toxicité du mitotane (atteintes primaires de l'ADN), ceci à des niveaux d'exposition très faibles présentant une réalité environnementale en regard de la concentration d'exposition calculée en intégrant le fort potentiel de bioaccumulation de la molécule dans les systèmes biologiques.

Nous préconisons donc la poursuite des tests de toxicité de médicaments potentiellement dangereux pour l'environnement, notamment ceux bioaccumulables à l'aide de modèles cellulaires de poissons, ces derniers représentant un outil sensible et adapté au screening des nombreux résidus qui sont à tester dans ce nouveau champ d'activité.



## IDENTIFICATION DE MÉDICAMENTS BIOACCUMULABLES ET ÉTUDE DE LEUR ÉCOTOXICITÉ

Aurélien BRACKERS de HUGO – Julien JEAN  
Sylvie BONY – Alain Devaux – Yves PERRODIN  
ENTPE – Faculté de Pharmacie de Lyon



Lyon, jeudi 20 janvier 2011

## Contexte

- Présence des médicaments détectée dans les fleuves, les lacs, l'eau de boisson
- Micropolluants particuliers :
  - Très nombreuses structures chimiques > 3000 molécules
  - Conçus pour être biologiquement actifs : mais également actifs sur des **organismes non cibles** <sup>1</sup>
  - Concentration faible mais exposition chronique
- Nécessité d'identifier les médicaments à étudier en priorité
- ... Et d'évaluer leur impact sur l'environnement

1. Huggett et al., 2002; Ferrari et al., 2004; Flippin et al., 2007

Eaux, Chaîne trophique & Santé

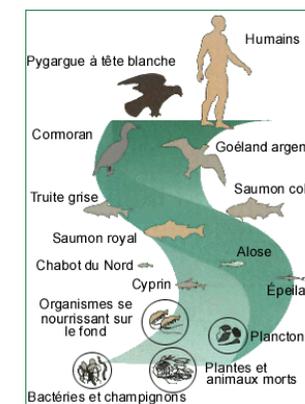
## Le médicament dans l'environnement

- Les effluents hospitaliers sont particulièrement étudiés <sup>1</sup>
- ⇒ comportement dans l'environnement :
  - Corrélation consommation / concentration
  - Biodégradabilité
  - Transfert entre les différents compartiments
  - Impact de la STEP sur l'abattement (très variable selon les médicaments)
  - Données écotoxicologiques très restreintes (molécules anciennes ou récentes)

Kummerer, 2001; Mullot, 2003; Brown, 2004; Montiel, 2006; Mullot et al., 2007; Thomas et al., 2007; Catastini et al., 2008; Martins et al., 2008.

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## La place de la chaîne trophique dans l'exposition



→ Intérêt d'étudier les médicaments bioaccumulables !

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Méthode de priorisation

- **Consommation :**
  - Critère le plus classique
  - Facile à obtenir au niveau hospitalier
  - Apporte un biais car met en avant les médicaments cardiovasculaires et les neuroleptiques et néglige les anticancéreux et les hormones...
- **Bioaccumulation**
  - Évaluée à l'aide du Facteur de Bioconcentration **BCF** (modélisé à l'aide du  $\log K_{ow}^1$ )
  - Choisi à 1000 (documents européens TGD)
  - Pour une gamme de  $6 < pH < 9$

1. Fent et al., 2006; Wells, 2006

## Processus de sélection

Spécialités pharmaceutiques consommées aux HCL en 2007



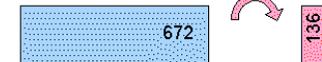
Substances pharmaceutiques consommées aux HCL en 2007



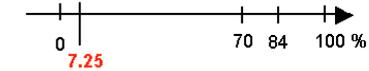
Substances pharmaceutiques retrouvées dans la base SciFinder



Substances pharmaceutiques pour les quelles une valeur de BCF a été retrouvée



Substances pharmaceutiques pour les quelles une des valeurs de BCF est supérieure à 1000



## Sélection d'une liste plus restreinte...

- Paramètres pharmacocinétiques des médicaments :
  - Demi – vie plasmatique : temps nécessaire à la diminution de moitié de la concentration plasmatique du médicament
  - $\frac{1}{2}$  vie longue = molécule potentiellement accumulable
  - Volume de distribution : caractérise la répartition du médicament dans le corps
  - Vd élevé = molécule potentiellement accumulable

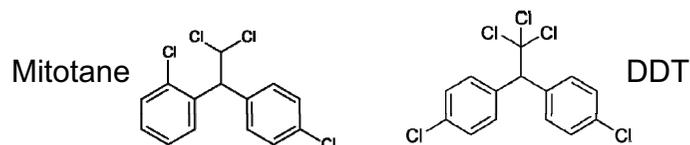
... Mais il s'agit de paramètres calculés sur l'homme, intéressant comme faisceau convergent de données...

## Identification des médicaments prioritaires

SUBSTANCES	CLASSE ANATOMIQUE
AMIODARONE	ANTIARYTHMIQUE, CLASSE III
DESLOTRADINE	ANTIHISTAMINIQUE
DEXTROPROPOXYPHENE	ANALGESIQUE (opioïde)
ECONAZOLE	ANTIFONGIQUE A USAGE TOPIQUE
ETHINYLESTRADIOL	OESTROGENE
HEXETIDINE	ANTIINFECTIEUX POUR TRAITEMENT LOCAL
NORGESTIMATE	PROGESTATIF
MIFEPRISTONE	ANTIPOGESTATIF
MITOTANE	ANTINEOPLASIQUE
NICARDIPINE	INHIBITEUR CALCIQUE SELECTIF
RITONAVIR	ANTIVIRAL A ACTION DIRECTE
TAMOXIFENE	ANTIOESTROGENE
TELITHROMYCINE	ANTIBACTERIEN A USAGE SYSTEMIQUE
AMITRIPTYLINE	ANTIDEPRESSEUR

## Test de toxicité : l'exemple du mitotane

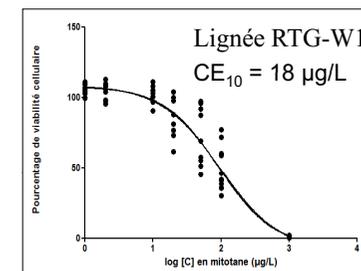
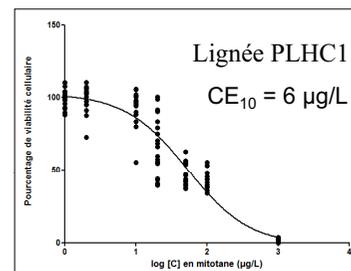
- Très proche du tristement célèbre...



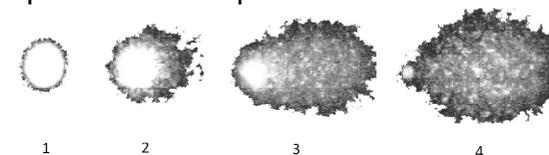
- Anticancéreux : dernière ligne de traitement des cancers corticosurrénaux
- 60-65 % éliminés sous forme inchangée
- Scénario d'exposition propre aux HCL :
  - Consommation / effluents hospitaliers / effluents domestiques
  - Étude de la toxicité sur cultures cellulaires :
    - Cytotoxicité
    - Génotoxicité

## Résultats

- Cytotoxicité



- Génotoxicité : étudiée à l'aide du test des comètes en exposition chronique



## Conclusions

- Médicaments bioaccumulables peuvent poser des problèmes via la chaîne trophique
- Identification de 14 d'entre eux avec une méthode de screening nouvelle
- Le mitotane comme exemple de médicament bioaccumulable
- Limitation des rejets en médicaments ?
  - Importance de la STEP dans l'abattement : pour quels procédés ?



## **Procédés d'élimination des substances médicamenteuses selon les risques**

---

Christophe DAGOT, Université de Limoges



# *Procédés d'élimination des substances médicamenteuses : le programme INTERREG PILLS*

---

Christophe DAGOT – GRESE – Université de Limoges

Il est maintenant admis que les différents compartiments des eaux sont contaminés par des traces de médicaments, de leurs résidus et de produits d'activités de soin. Ces composés posent un problème environnemental du fait de leur possible accumulation dans l'environnement et des impacts sur l'environnement, bien que ceux-ci soient encore difficiles à quantifier.

Afin de éliminer ces différentes substances, provenant pour partie des établissements de soins, plusieurs stratégies sont possibles, allant d'une meilleure gestion des prescriptions, une pharmacopée « plus verte » jusqu'au traitement physico-chimique ou biologique.

La mise en œuvre de systèmes de traitement interroge alors le gestionnaire de l'environnement : faut-il mieux traiter les effluents des hôpitaux directement sur le site, ou adapter les stations d'épuration urbaine, non conçues actuellement pour ce genre de xénobiotiques ?

## **Le programme PILLS : approche technico environnementale du traitement on site des effluents hospitaliers.**

6 pays se sont associés au sein d'un programme européen Interreg pour comparer l'efficacité de traitements avancés d'effluents hospitaliers : l'Emschergerossenschaft d'Allemagne, le CRP Henri Tudor du Luxembourg, le Waterschap Groot Salland des pays Bas, l'Ewag de Suisse, l'Université Calédonienne de Glasgow (Ecosse) et l'Université de Limoges. Ce programme a pour acronyme PILLS pour Pharmaceutical Input and Elimination from Local Sources.

### Un choix des substances cibles

Les substances choisies comme modèle d'efficacité correspondent à différentes classes thérapeutiques : analgésique, cytostatiques, antibactériens, agent de contraste, tranquillisant, régulateur et bêtabloquant. Ce choix résulte du triptyque : pourquoi ces molécules

sont-elles présentes ? Pourquoi doivent-elles être éliminées ? Comment peuvent-elles être éliminées ?

Les microorganismes sont également suivis notamment par la dissémination de l'antibiorésistance.

### Des traitements avancés comparés

Actuellement les STEP ont peu ou pas d'impacts sur l'élimination des résidus médicamenteux. Les mécanismes associés sont l'adsorption hydrophobe ou par charge de surface et la biodégradation. Chacun de ces phénomènes est relié aux caractéristiques des molécules cibles et leur efficacité quantifiée par un (des) paramètre(s) spécifique(s).

Le consortium de PILLS a en charge le développement de pilotes de traitement constitués de différentes opérations en série ou en parallèle : réacteur à membrane, charbon actif, osmose inverse, Photocatalyse UV, filtre à sable...

## **Conclusion**

Le suivi des différentes filières permettra la comparaison de celles-ci sur les molécules cibles, ainsi que leur évaluation économique et environnementale. A ces fins, des méthodes d'écotoxicologie sont en cours de validation et les Analyses de Cycle de Vie des différentes voies de traitement sont établies.

La synthèse des résultats est prévue pour 2012, date de fin du projet.



## Procédés d'élimination des substances médicamenteuses : le programme PILLS

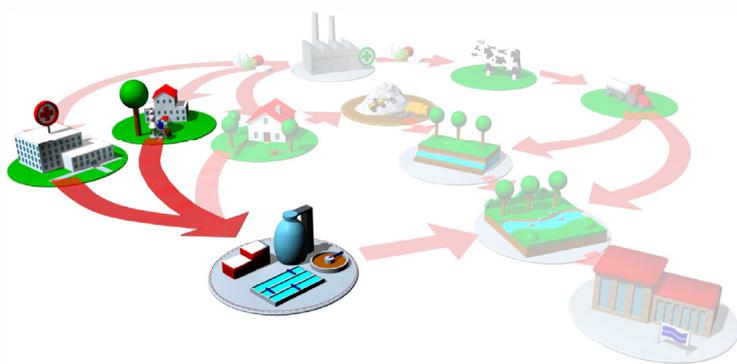
Christophe DAGOT  
- GRESE Université de Limoges -



Lyon, jeudi 20 janvier 2011

3<sup>e</sup> Conférence Eau & Santé  
Lyon, 20 janvier 2011

## Cycle de vie des médicaments



Eaux, Chaîne trophique & Santé

## PILLS : traitement in-situ des substances médicamenteuses

Traitement ?  
Traitement hors site (STEP)  
Traitement on-site

Impacts environnementaux  
Bénéfice sanitaire  
Impact économique



Figure 4: Location of the PILLS partners



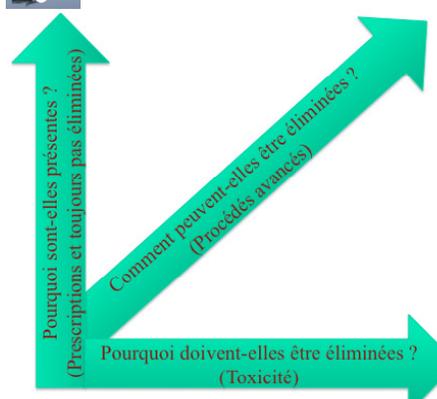
Source: PILLS project

- France - Université de Limoges
- Germany - Emschergenossenschaft
- Luxembourg CRP Henri Tudor
- Netherlands Waterschap Groot Salland
- Switzerland - Eawag
- United Kingdom - Glasgow Caledonian University

Eaux, Chaîne trophique & Santé

Eau & Santé

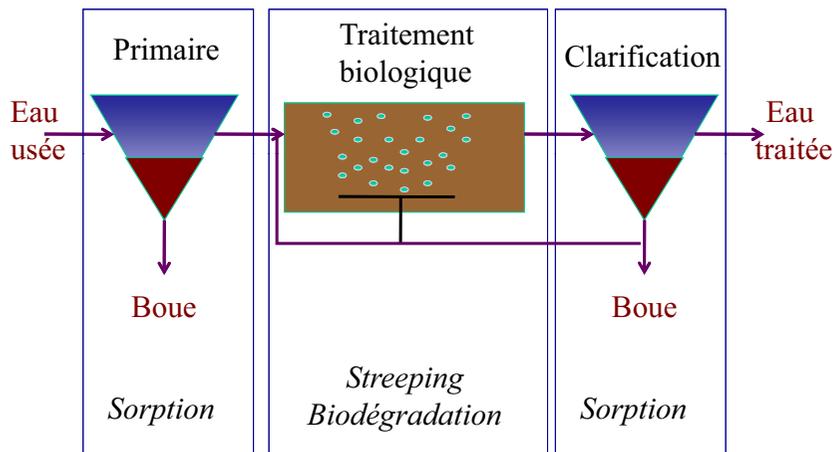
## Quels choix de substances ?



Analgésiques / Anti-inflammatoires / anesthésiants	Diclorofénac, Lidocaïne, Naproxène
Cytostatiques	Cyclophosphamides, Ifosfamide
Antibactériens	Amoxicilline, Ciprofloxacine, Clarithromycine, Erythromycine, Sulfamethoxazole
Métabolite	Acetyl- Sulfamethoxazole
Agent de contraste	Diatrizoate, Lopamidol, Lopromide
Tranquillisants, anticonvulsif	Carbamazépine
Régulateur	Bezafibrate
Bétabloquants / antihypertension	Atenolol

Eaux, Chaîne trophique & Santé

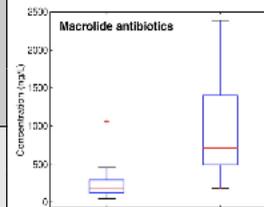
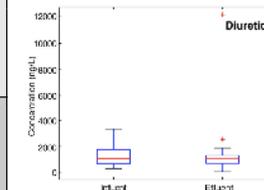
## Action de la STEP



Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Action de la STEP

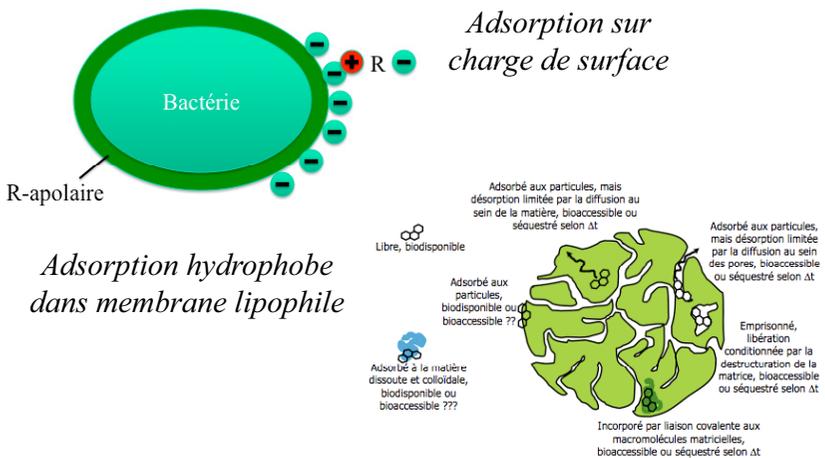
<b>Augmentation de la concentration</b>	Macrolides, Carbamazépine, Benzodiazépine, Serotonines, Sulfonamide, thrimethoprine
<b>Variabilité des rendements d'élimination</b>	Fluoroquinone, tétracycline, traitement cholestérol, B-bloquant, Antidiabétique (40-70%) mais parfois 0% Furosémide, hydrochlorothiazide (diurétique) variable autour de 50% Sulphonamide parfois 90% Analgésique, codéine : faible
<b>Élimination / rétention importante</b>	Enalaprif (Anti-hypertension), diclofenac (100%)



Gros et al, 2010

Eaux, Chaîne trophique & Santé

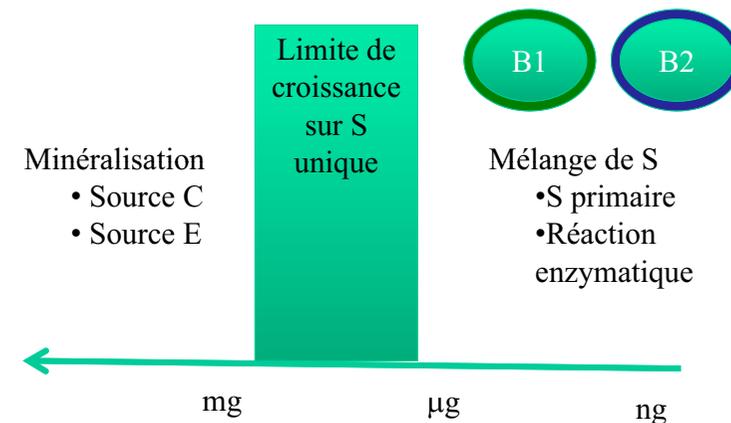
## Phénomènes de sorption



Joss A & al. Grese 2008  
Barret M. 2009

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Phénomènes de biodégradation



Barret M. 2009

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Procédés d'élimination /piégeage

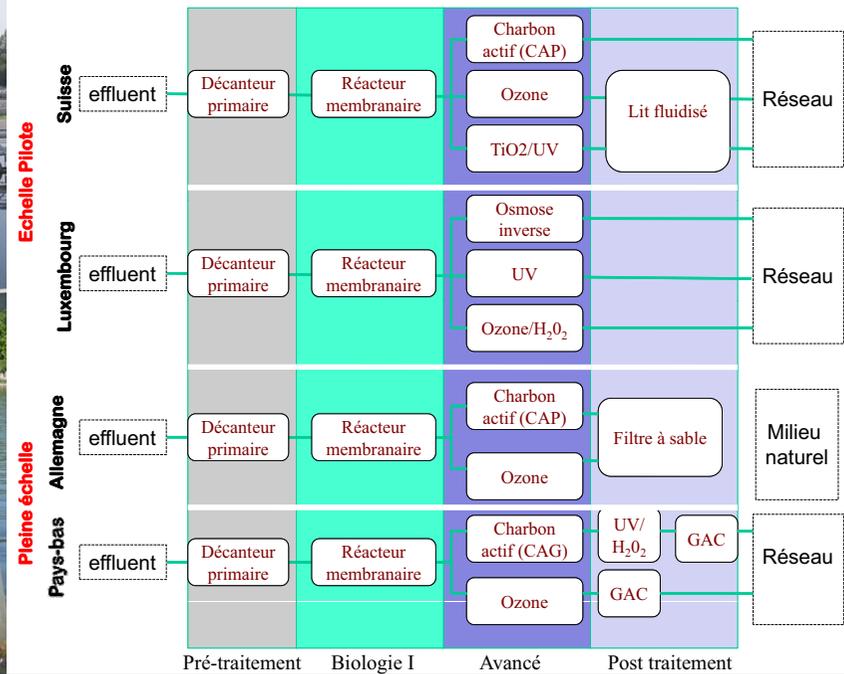
- Sorption
- (Bio) Dégradation
- Stripping
- Procédé de traitement
  - Filtration
  - Oxydation UV, H2O2, Cl
  - Ozonation
  - Charbon actif (CAP, CAG)
  - Membrane (osmose inverse, nanofiltration...)
  - Lagunage, berge filtrante

## Procédés d'élimination /piégeage

Principes	Procédés	Principes	Paramètres	Remarques
Adsorption	Sélective Non sélective	Van der Waals Covalence, hydrogène, ionique	Coefficient de partage Kow Polarité, solubilité, pH isoélectrique, pKa, FI, MM	Adsorption sur support minéral, organique Bioadsorption
Rétention membranaire	Nanofiltration Osmose inverse	Seuil de coupure	Polarité, MM, encombrement stérique	
Aération forcée	Stripping	$8 < G/L < 20$	Constante de Henry ( $>3.10^{-3}$ ), tension de vapeur, température	

## Procédés d'élimination /piégeage

Principes	Procédés	Principes	Paramètres	Remarques
Transformation	Oxydation	directe, radicalaire, réduction, acide ou basique, photocatalyse, ionisation	Demi-vie Constante de réaction, pKa, constante d'hydrolyse,	Sous produits
	Hydrolyse Catalyse			
Biologique	Biodégradation	Directe Cométabolisme	De photolyse Constante de dégradation ( $<0,1 \text{ L.gMES}^{-1}\text{J}^{-1}$ )	Sous produits

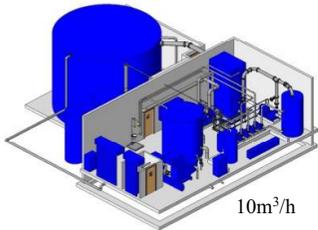
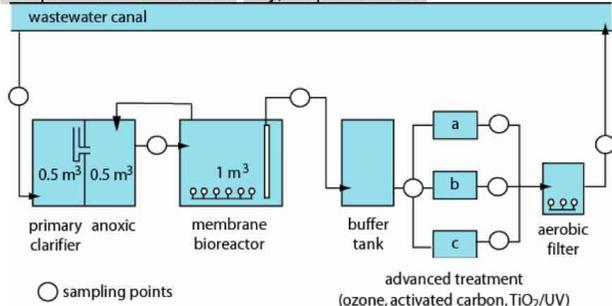




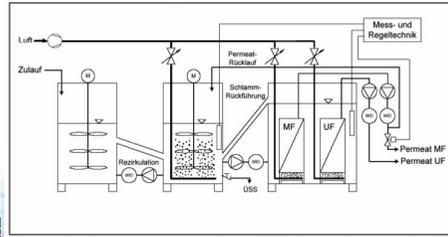
# Traitement in situ des effluents hospitaliers



Pilot plant: water flow 0.5-1 m<sup>3</sup>/day, in operation 2009



10m<sup>3</sup>/h



ux, Chaîne tro

## Conclusion

- Les traitements dans les STEP n'éliminent que partiellement les micropolluants
- Il existe des méthodes de traitement dont certaines sont abordables (mais pollution diffuse ?)
- Nécessité de disposer de données d'efficacité de traitement
- Nécessité de développer les études écotoxicologiques
- Résultats des ACV



Eaux, Chaîne trophique & Santé



## **Devenir des produits phytosanitaires – Prolifération algale et cyanobactéries : deux cas d'études en étangs**

---

Dominique VALLOD, ISARA



# *Devenir des produits phytosanitaires – Proliférations algales et Cyanobactéries : deux cas d'études en étangs*

---

Dominique Vallod, ISARA Lyon

## **1/ Devenir des produits phytosanitaires en étangs**

Fondamentalement, le transfert diffus des substances phytosanitaires vers la ressource en eau superficielle dépend :

- des propriétés des molécules en particulier mobilité, persistance
- de la quantité appliquée sur les espaces cibles
- de la connectivité hydrologique entre ces espaces cibles et la masse d'eau
- des conditions pluviométriques autour de la période d'application.
- éventuellement de transports aériens des substances voire véhiculés par la pluie

En Dombes, le système agro-piscicole a pour but d'exploiter de manière intégrée et complémentaire les étangs piscicoles et les parcelles agricoles qui constituent leur bassin versant. Une évolution vers des systèmes céréaliers au détriment des surfaces fourragères a marqué le territoire dans les dernières décennies. Dans le contexte régional, de nombreuses questions émanent donc aujourd'hui des acteurs locaux sur l'évolution des matières actives de la parcelle agricole au poisson dans les systèmes agro-piscicoles ; quel peut en être l'impact sur l'écosystème aquatique et le transfert de substances actives phytosanitaires ?

L'étude que nous avons conduite a cherché à évaluer les risques de contamination du poisson au sein de deux régions comportant plusieurs centaines d'étangs piscicoles: la Dombes (Ain) et la Brenne (Indre). L'exposition globale des étangs au risque de transfert de produits phytosanitaires a été analysée à partir de 2 facteurs clés : part des surfaces cultivées sur le bassin versant, capacité d'alimentation de l'étang par son bassin versant.

Le risque de transfert des produits phytosanitaires a ensuite été approché de manière plus détaillée sur un échantillon d'étang :

- à partir de critères de description spatiale de leur bassin versant
- selon les usages phytosanitaires recensés sur les parcelles
- au regard des pratiques de gestion piscicole des étangs

Sur ces sites, les résidus de substance phytosanitaire ont été mesurés du printemps à l'automne sur plusieurs compartiments: *ruissellements, eau et sédiments des étangs, poissons.*

Les résultats font état d'une cohérence globale entre usages phytosanitaires et degré d'exposition d'une part et diversité et fréquence des résidus observés d'autre part. Toutefois des contaminations relevées sur des sites peu exposés s'expliquent sans doute par des pollutions ponctuelles. Les transferts rapides de substances sont fréquents en particulier dans les eaux de ruissellement. La traçabilité de certaines substances herbicides comme le S-Métolachlore a néanmoins pu être établie depuis la parcelle jusqu'au poisson en passant par la masse d'eau de l'étang. Des traces ont été détectées dans le poisson exclusivement dans les foies et non dans les muscles. Un potentiel de stockage de certains herbicides a également été mis en évidence dans les sédiments de l'étang.

Ce travail est une approche exploratoire pragmatique de l'évolution des matières actives après épandages sur différents compartiments d'un agro-écosystème tout à fait singulier où des masses d'eau peu profondes côtoient des systèmes céréaliers conduits de manière conventionnelle. Dans la plupart des cas les transferts de matières actives sont diffus, donnant lieu à une contamination chronique des masses d'eau. Les concentrations relevées ponctuellement sur les différents compartiments de l'étang sont faibles hormis pour quelques herbicides dans l'eau de ruissellement.

De nombreuses questions restent encore posées :

- Devenir des résidus dans la masse d'eau de l'étang ? Stockage dans le sédiment ? Comment le poisson entre en contact avec la substance ? via l'eau, le sédiment, la chaîne trophique ? Ces questions d'ordre écotoxicologique sont essentielles mais extrêmement complexes à résoudre in situ. Le fonctionnement spécifique des étangs piscicoles : turn over rapide de la matière organique et alternance des conditions d'oxygénation et de minéralisation des sédiments, pourrait constituer un cas d'étude particulièrement intéressant pour fournir de nouvelles connaissances sur ces processus.
- Effets long terme sur le poisson ? Cette question est délicate dans des écosystèmes aquatiques qui sont des systèmes d'élevage où le cycle est court, notamment concernant la durée de vie du poisson (3 à 4 ans maximum pour les carpes) et mélanges nombreux des lots de poissons.

En conclusion, il est possible de confirmer que le risque de transfert vers la masse d'eau de l'étang est bien présent voire important sur certains sites exposés. La contamination du poisson reste toutefois limitée car les tissus musculaires ne semblent pas touchés.

Les recommandations aux gestionnaires pourraient consister toutefois à limiter si possible la connectivité hydrologique bassin versant - étang sur les sites exposés lors des épisodes pluvieux qui coïncident avec les périodes de traitement herbicide en grandes cultures.

Références publiées :

**Vallod, D.**, Fourrié, L., Flandin, M., Chavallard, **P.**, **Sarrazin, B.** 2008. Etude des facteurs de transfert des produits phytosanitaires vers des étangs piscicoles en Dombes, zone humide continentale associant prairies et cultures. Fourrages, 193:51-63.

## 2/ Proliférations algales et cyanobactéries en étangs

Les cyanobactéries constituent l'un des premières formes de vie sur terre. Présentes depuis plusieurs milliards d'années, elles ont su s'adapter et développer des spécificités leur permettant de se développer et de dominer avec des conditions optimales différentes selon les espèces (faible à forte intensité lumineuse, faible à forte température,...). Un certain nombre d'espèces de cyanobactéries sont capables de produire des composés odorants (*Anabaena*, *Phormidium*, *Microcoleus*,...), d'autres des toxines... Un certain nombre d'entre elles est aussi capable de produire les deux!

Ces deux types de métabolites produits et libérés dans le milieu peuvent avoir différentes conséquences pour la production piscicole en eau douce. Ces conséquences potentielles ont été étudiées dans les étangs piscicoles de la Région Rhône-Alpes.

Ces proliférations surviennent surtout lors de la période estivale. Elles peuvent provoquer au mieux la fuite de l'avifaune et au pire des mortalités massives de la faune aquatique voire terrestre (poissons, et plus rarement oiseaux et mammifères venus s'abreuver). Le risque de mortalité en milieu aquatique est souvent imputé à une désoxygénation totale de la masse d'eau. Cette désoxygénation intervient souvent en fin de prolifération lorsque les importantes quantités de cyanobactéries mortes sont décomposées par les bactéries qui consomment alors une grande quantité d'oxygène. Mais la production de diverses toxines par ces microorganismes peut parfois être également à l'origine de ces mortalités sans que l'on soit encore capable de bien évaluer l'importance de ce phénomène.

Les étangs, dont les masses d'eau renferment fréquemment des densités de cyanobactéries très importantes (efflorescences très souvent supérieures à  $10^5$  cellules/ml) fournissent un modèle scientifique intéressant pour étudier l'effet des toxines de cyanobactéries sur le fonctionnement global de sites à forte valeur agroécologique.

Les cyanobactéries ont tendance à coloniser de plus en plus régulièrement les étangs de la Dombes et du Forez, avec tout particulièrement des espèces appartenant aux genres *Anabaena* (filaments), *Aphanizomenon* (filaments) et *Microcystis* (coloniale).

La capacité à supplanter les autres espèces et à proliférer est liée à des avantages physiologiques : fixation de l'azote atmosphérique pour les espèces pourvues de cellules spécialisées nommées hétérocystes, capacité à réguler la flottabilité des cellules dans la colonne d'eau et donc de se positionner à position optimale pour ses besoins, production de toxines dont on ne connaît pas encore bien le rôle physiologique (même si on suppose un rôle dans l'inhibition de certaines espèces concurrentes). On connaît encore moins le rôle que peuvent avoir les composés odorants produits par certaines cyanobactéries.

Des études préliminaires avaient permis de définir les conditions particulièrement propices à l'installation puis à la prolifération des cyanobactéries : disponibilité en phosphore, température de l'eau assez importante (optimum proche de 25°C pour la plupart des espèces de cyanobactéries concernées dans nos milieux), et phase d'eau claire où le milieu laissé libre permet une installation d'autant plus rapide.

Le réseau trophique d'un étang en fonctionnement normal est basé sur un enchaînement logique : éléments minéraux + lumière → algues-zooplancton-poisson, ce qui permet une production de qualité basée sur un fonctionnement naturel du milieu. Dans le cas d'une prolifération de cyanobactéries, les algues ne permettent pas le développement de cette chaîne alimentaire car elles ne sont pas consommées par les maillons supérieurs. Ainsi, c'est plutôt la boucle microbienne qui profite de ces proliférations. Outre les risques pour le poisson liés aux toxines ou aux désoxygénations de la masse d'eau, les proliférations sont aussi une période où la disponibilité en nourriture est limitée, ce qui peut poser des problèmes quand elles se prolongent pendant plusieurs semaines voire plusieurs mois...

Nos résultats confrontant les maxima de biomasses de proliférations aux rendements piscicoles obtenus en fin d'année permettent de conclure qu'à partir d'un certain niveau de biomasse, le rendement piscicole baisse en moyenne et devient surtout très variable.

Les cyanobactéries ont été étudiées dans deux types de production (salmoniculture et étang piscicole) et sur deux problématiques : toxines et composés odorants. En salmoniculture, le problème est surtout lié aux composés odorants qui sont sécrétés par certaines espèces même peu abondantes et qui peuvent causer des défauts de

goût très répulsifs dans les truites destinées à la consommation. Les toxines n'ont pas été identifiées dans de tels systèmes. En étang piscicole, les fortes concentrations cellulaires en cyanobactéries relevées parfois pendant les proliférations permettent la libération de fortes concentrations en composés odorants, mais aussi régulièrement une production non négligeable de toxines. Nous avons donc voulu en savoir plus sur les toxines, les mécanismes de leur production et leurs conséquences en termes de toxicité. 15 étangs ont bénéficié d'un suivi hebdomadaire pendant une saison de production. Un site pilote a permis d'obtenir des données haute fréquence et multipoints (6 points suivis tous les 2 jours). Les paramètres mesurés concernaient les paramètres environnementaux de base (données météorologiques, physico-chimie de l'eau), la détermination et le comptage de chaque espèce de cyanobactérie rencontrée. Nos efforts se sont portés sur *Microcystis aeruginosa*, espèce la plus souvent retrouvée dans le cadre de nos suivis. Des travaux sur cette espèce ont permis d'étudier la diversité génétique au sein de la population (nombre de génotypes, pourcentage de cellules possédant la capacité à produire des toxines). Des dosages de microcystine, principale toxine produite par cette espèce, ont été réalisés de manière systématique.

La phase d'installation de *Microcystis aeruginosa* dans le milieu est caractérisée par une importante diversité génétique de la population. La phase de prolifération se distingue par la sélection d'un ou de quelques génotypes et à l'inverse de la contre-sélection des autres génotypes initialement présents. Une augmentation de la diversité n'est observée que tardivement après la diminution des concentrations cellulaires. La production de toxines est corrélée aux concentrations cellulaires totales en cyanobactéries, et également à la proportion des cellules potentiellement toxiques : dans notre cas étudié, plus les cellules de *Microcystis* sont abondantes, plus le risque de trouver des cellules pouvant sécréter des toxines est important, plus les concentrations en microcystine retrouvée dans l'eau sont importantes.

Par contre, nos données n'ont pas apporté de connaissances nouvelles à propos de l'influence des paramètres environnementaux sur le déclenchement des proliférations. Seules restent réelles l'influence de la température et de la disponibilité en nutriments.

D'un autre côté, les toxines (microcystines) sont potentiellement un risque pour l'eau destinée à la consommation humaine et sont aussi

surveillées de près sur les plans d'eau de loisirs. En milieu piscicole, des concentrations de toxines non négligeables sont retrouvées, mais on a encore beaucoup à apprendre sur leur fixation dans le poisson, les organes et tissus cibles, et la toxicité associée à cette fixation.

En tout cas, le suivi multipoints et à haute fréquence sur un site pilote a permis de mettre en évidence l'importance de choisir plusieurs points de prélèvements et de rester sur une base hebdomadaire pour appréhender l'évolution d'une cyanobactérie dans un plan d'eau de petite taille.

En ce qui concerne les composés odorants produits par les cyanobactéries, ils causent certes des défauts répulsifs pour la qualité sensorielle du poisson mais ne sont pas dangereux pour la santé du consommateur.

Références publiées ou en cours :

**Hallier, A., Robin, J., Sérot, T., Vallod, D.** Odeur et flaveur des produits aquatiques. In : La qualité des produits aquatiques, Lavoisier, Paris, (in press).

**Pobel D.,** Godon J.J., Humbert J.F., **Robin J.** High frequency monitoring of changes occurring in the genetic diversity and in the toxicity of a *Microcystis aeruginosa* bloom-forming population in a French shallow lake. Submitted to Applied and Environmental Microbiology

**Pobel, D., Robin, J.,** and Humbert, J.-F. 2011. Influence of sampling strategies on the monitoring of cyanobacteria in shallow lakes: Lessons from a case study in France. Water Research, 45 : 1005-1014.

**Robin, J.,** Cravedi J.P., Hillenweck A., Deshayes C., **Vallod, D.,** 2006. Off-flavor characterization and origin in French trout farming. Aquaculture, 260, 128-138.

**Robin, J., Hallier, A., Serot, Vallod, D,** 2009. Effet des efflorescences d'*Anabaena* spp. sur la qualité organoleptique de la truite arc-en ciel (*Onchorynchus mykiss*). Revue Internationale des Sciences de l'Eau, 22(1) : 103-113

**Vallod D.,** Hillenweck A., Cravedi J.P., **Robin J.,** 2007. Analysis of the off-flavor risk in carp production in ponds in Dombes and Forez (France). Aquaculture International, 15(3-4).



# PHYTOSANITAIRES ET CYANOBACTÉRIES EN ETANGS

ISARA-Lyon  
(D. Vallod / J. Robin / B. Sarrazin)



Lyon, jeudi 20 janvier 2011

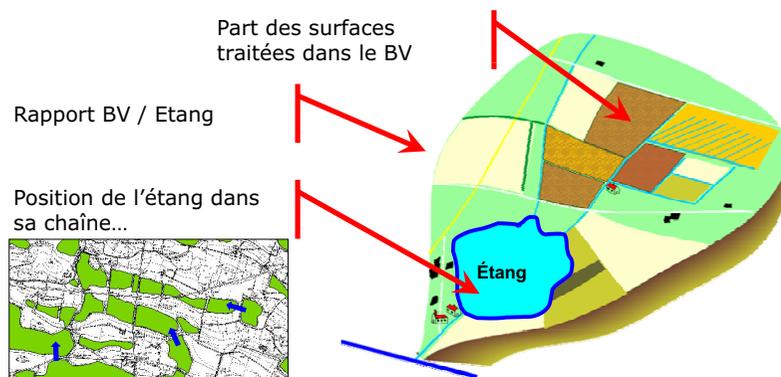
## Phytosanitaires

- Evolution des substances actives de la parcelle au poisson dans les systèmes agro-piscicoles
- Régions Dombes et Brenne
- Etude ACTA / ITAVI / ENVL / ISARA

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Vulnérabilité des étangs

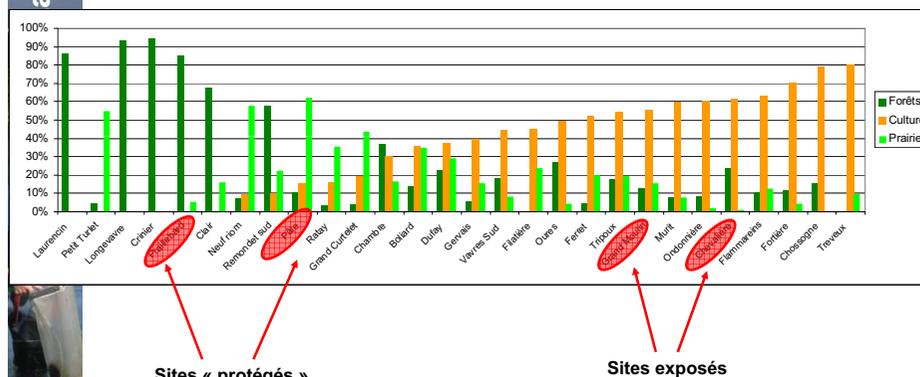
- Facteurs majeurs d'exposition
  - Classification des étangs via méthode hiérarchique



Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Sélection d'étangs

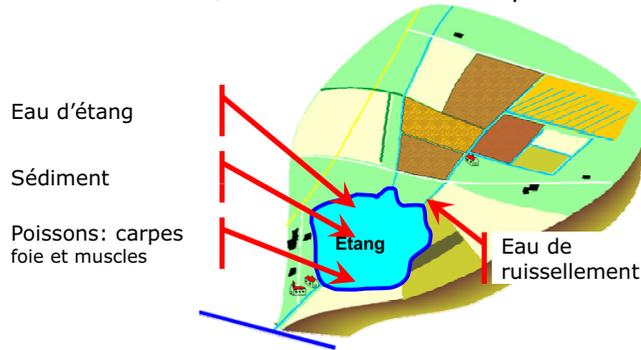
– Répartition de l'occupation des sols des bassins versants d'un échantillon d'étangs de la Dombes



Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Protocole in situ

- Validation du transfert parcelle - étangs
  - Lors d'épisodes pluvieux efficaces
- Evaluation de la contamination de l'étang
  - Prélèvements début, milieu et fin de saison piscicole



Eaux, Chaîne trophique & Santé

- Ruissellement
  - Eau d'étang
  - Sédiment
  - Poissons (foie de carpes)
- ## Tendances observées
- sur 4 sites en Dombes

Etangs suivis	Score intégré Vulnérabilité (Facteurs d'Exposition)	Présence de résidus de substances appliquées sur le bassin versant en année n à n - 3 (selon résultats d'enquêtes)		
		Herbicides	Fongicides	Insecticides
Etang 1	40	●●●●● ●●●●● ●●●●● ●●●●●	●●	●●
Etang 2	29	●●●●●	●	●
Etang 3	19	●●●●● ●●●●● ●●●●● ●●●●●		
Etang 4	0	●		

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Matières actives détectées

ETANGS		Molécules détectées par compartiments suivis			
		Eau de ruissellement	Eau étangs	Sédiments étangs	Poissons (foie uniquement)
DOMBES	A GRAND MOULIN	diméthénamide s-métolachlore méthiocarbe aclonifen flurtamone tébuconazole cyprodinil atrazine glyphosate AMPA acétochlore 2,4-D	butoxyde pipéronyle diméthénamide s-métolachlore AMPA	atrazine promazine	-
	B PALE	s-métolachlore aclonifen	s-métholachlore	s-métolachlore trifluraline	s-métolachlore
	B2 TRIPAUX	aclonifen isoproturon cyprodinil chloratorulon diflufenicanil acétochlore s-métolachlore AMPA métazachlore 2,4-D	atrazine	-	-
	C CHEVALIERE	s-métolachlore dicamba époxiconazole heptachlore	s-métholachlore	-	s-métolachlore
	C2 DEVANT	s-métolachlore trichlopyr napropamide	-	-	-
	D PRAILLEBARD	s-métolachlore	-	-	-

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Conclusions

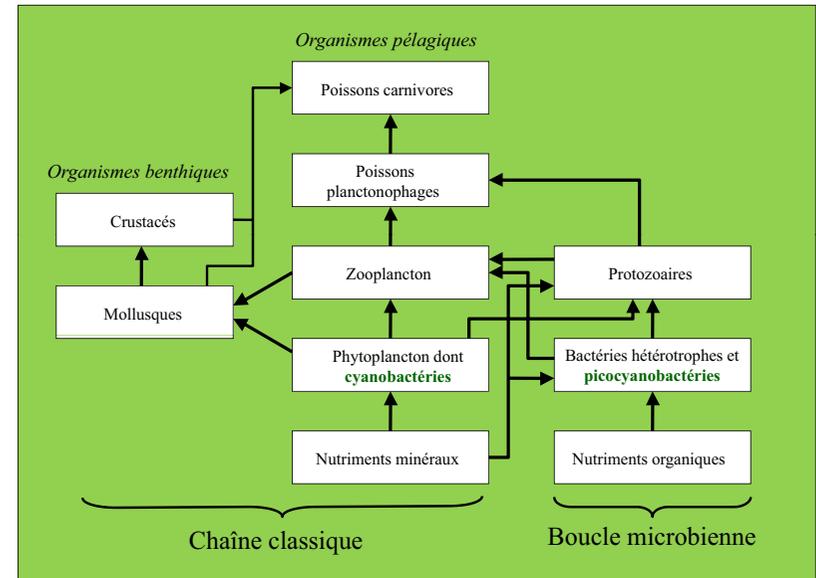
- Transferts par ruissellement fréquents
  - Herbicides mobiles en particulier
  - Valide l'analyse des facteurs de risque
- Transferts vers le poisson très limités
  - Traces de S-métolachlore dans les tissus hépatiques
- Potentiel de stockage dans le sédiment de l'étang
- Adapter la gestion hydrologique des étangs vulnérables

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Problématiques cyanobactéries

- Les cyanobactéries sont mal digérées par les poissons et constituent une impasse trophique
- Les cyanobactéries peuvent supplanter les autres algues dans la masse d'eau
- Les cyanobactéries produisent des composés odorants et des toxines dont les conséquences sont nuisibles pour la faune aquatique et donc le poisson

## Place des cyanobactéries dans les écosystèmes aquatiques ?

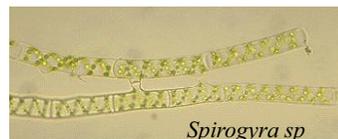


## Algues nuisibles pour la production

- Les algues filamenteuses



Présentes d'avril à juillet  
Prolifèrent en eau claire  
Limitent le développement des algues consommables dans la chaîne alimentaire  
Causent rarement des mortalités piscicoles

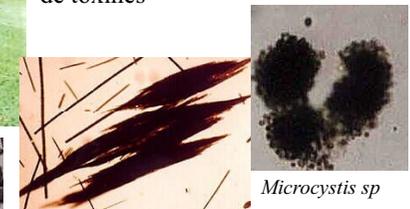


## Algues nuisibles pour la production

- Les cyanobactéries

Prolifèrent en juillet-août, avec des biomasses souvent très importantes

Causent souvent des mortalités piscicoles par désoxygénation ou libération de toxines



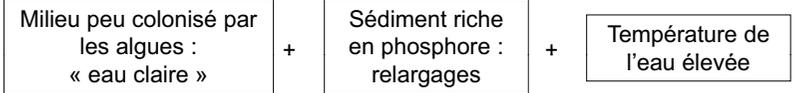
*Aphanizomenon sp*

## Caractéristiques biologiques des cyanobactéries

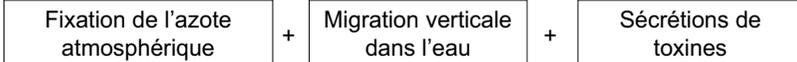
- fixation de l'azote atmosphérique N<sub>2</sub>, (espèces développant des hétérocystes)
- migration verticale chez les espèces dotées de vacuoles gazeuses
- production et libération de toxines ou de composés odorants
- broutage par les consommateurs primaires limité (zooplancton, benthos, poissons omnivores)

## Développement des cyanobactéries

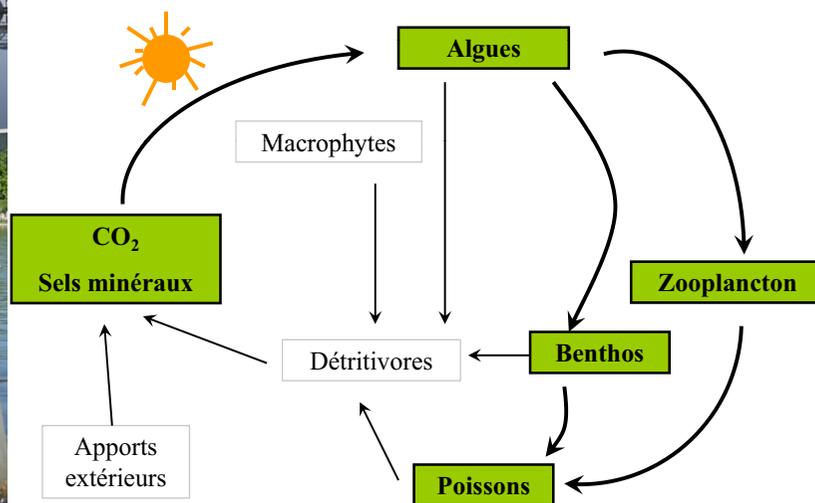
Des conditions de milieu typiques des étangs en été...



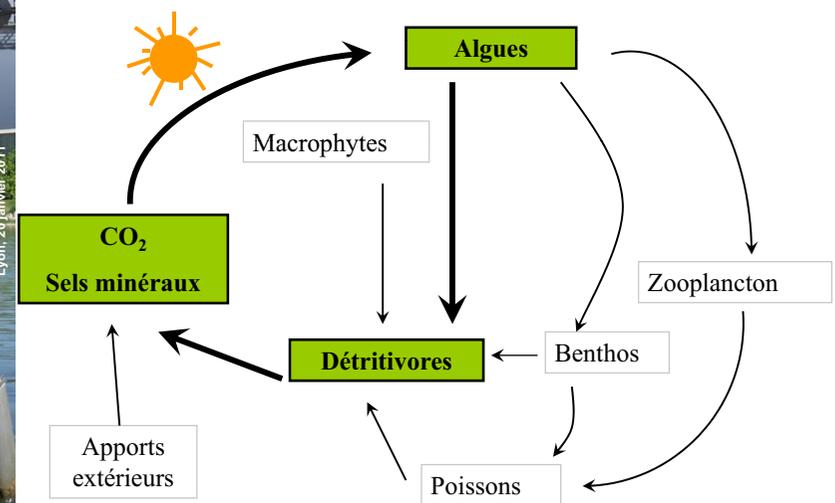
+ quelques avantages que possèdent les cyanobactéries ...



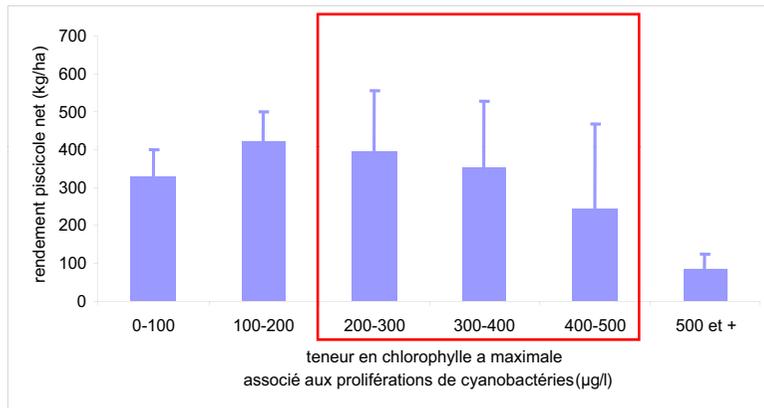
## Réseau trophique en étang Fonctionnement « normal »



## Réseau trophique en étang Fonctionnement en prolifération algale



## Conséquences sur la production piscicole



Impact des toxines ?? (34 étangs – 1995 à 2010)

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Cyanobactéries et production piscicole

- Les cyanobactéries sont présentes dans les différents milieux de production piscicole continentale
  - Production salmonicole : concentrations cellulaires rarement significatives, présence de composés odorants, toxines??
  - Production en étang (*Microcystis*) : concentrations cellulaires souvent très élevées, présence de composés odorants, mais faibles concentrations de toxines (microcystines). Mortalités piscicoles essentiellement liées à l'anoxie du milieu??

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Méthodologie

- Sur les étangs de la Région Rhône-Alpes
  - Déterminer la concentration en cyanobactéries (comptage et détermination à l'espèce) et les teneurs en toxines associées (HPLC)
  - Etudier la dynamique des proliférations en lien avec la structuration génétique de des populations (clonage, PCR)
  - Etudier l'impact des facteurs environnementaux sur l'évolution de la concentration en cyanobactéries



Mieux comprendre le déterminisme des proliférations

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Résultats

Etude sur l'espèce la plus fréquemment rencontrée : *Microcystis aeruginosa*

- Une prolifération
  - Est associée à la sélection d'un ou de quelques génotypes alors que plusieurs dizaines de génotypes sont présents initialement au début du développement de *M.a.*
  - Se développe toujours en cas de disponibilité importante en ressources nutritives (azote, phosphore)
  - Peut entraîner la production de toxines (par des génotypes toxiques), avec des teneurs corrélées à la concentration en cyanobactéries

Eaux, Chaîne trophique & Santé



## Conclusions

- Différents impacts des cyanobactéries:
  - Effet sensoriel des composés odorants secrétés par les cyanobactéries (eau de boisson, poissons) mais pas de risque pour la santé
  - Toxines = risque pour la santé (cf. travaux sur l'eau potable), mais encore bien des interrogations sur les modalités de fixation des toxines dans le poisson (toxines liées vs toxines libres) et donc sur les effets des toxines en production piscicole
- Importance de l'échantillonnage !
  - Une fréquence importante et des prélèvements multipoints sont requis pour aboutir à des résultats corrects

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## **Comment les poissons se contaminent par les PCB ? Éléments de réponse pour quelques espèces d'eau douce**

---

Marc BABUT, Cemagref de Lyon



# *Comment les poissons se contaminent par les PCB ? Éléments de réponse pour quelques espèces d'eau douce*

---

Marc Babut, Laboratoire d'écotoxicologie – UR Milieux Aquatiques, Ecologie, Pollutions, Cemagref de Lyon

Produits industriellement depuis environ 1930, les polychlorobiphényles (PCB) ont été utilisés dans une large gamme d'applications, notamment les gros équipements électriques tels que transformateurs et diélectriques, jusque vers la fin de la décennie 1980. Depuis 1987 en France, comme dans les autres pays industrialisés, toute production est interdite et les équipements déjà en service devaient être éliminés au plus tard au 31 décembre 2010. Les restrictions d'usage puis les interdictions sont intervenus au fur et à mesure de la prise en considération de l'accumulation des PCB dans les chaînes alimentaires et de leur toxicité, complexe et partiellement similaire à celle des polychlorodibenzodioxines. En France, la découverte d'une contamination de poissons d'eau douce dans le Rhône vers 1985-1986 a eu entre autres conséquences de mettre en place une valeur-guide de 2 mg.kg<sup>-1</sup> (poids frais) pour l'ensemble des PCB dans la chair des poissons. La surveillance des poissons du Vieux Rhône de Miribel sous l'égide du Service de la Navigation Rhône-Saône a perduré jusqu'en 1999, où il a été constaté que ce niveau guide de 2 mg.kg<sup>-1</sup> était respecté. En 2005, la découverte fortuite de deux brèmes contaminées par les PCB dans le plan d'eau du Grand-Large et l'avis de l'AFSSA<sup>1</sup> concluant à un risque possible pour les consommateurs a conduit par paliers à un diagnostic étendu à l'ensemble du linéaire du Rhône, puis ses affluents, ainsi que sur l'ensemble du territoire national à partir de 2008.

La problématique sanitaire autour des PCB est liée à la stratégie européenne de réduction de l'exposition des populations aux dioxines et composés apparentés, à l'évolution de la perception de la toxicité des PCB « NDL », c'est à dire ceux dont les effets sont différents de la

dioxine. Elle a également un lien avec la directive cadre pour l'eau, puisque les PCB sont devenus un élément de la liste des substances prioritaires en 2010.

Dans le contexte du diagnostic de la contamination des poissons commencé en 2005, deux questions d'intérêt pour l'interprétation des données ressortent plus particulièrement, à savoir celle des espèces les plus (ou les moins) concernées par la contamination, et des tendances temporelles (la contamination par les PCB est-elle en diminution, ou pas).

Il s'agit donc de comprendre comment les poissons se contaminent, et quels facteurs peuvent expliquer cette contamination et les différences entre espèces ; d'après l'abondante littérature scientifique, ces facteurs incluent les propriétés physico-chimiques des PCB, et la physiologie et l'écologie des espèces de poissons. Cependant ils sont le plus souvent étudiés séparément, alors qu'à l'évidence tous ces facteurs sont en constante interaction.

Cette présentation est construite à partir de deux études complémentaires menées en parallèle par le Cemagref: l'une visait à exploiter les bases de données mises en ligne dans le cadre du diagnostic de contamination mentionné plus haut à l'échelle du bassin du Rhône, l'autre, inscrite au plan national d'actions sur les PCB adopté en 2008 vise à comprendre et modéliser le transfert des PCB du sédiment au poisson, pour 3 espèces « clé » de poissons d'eau douce<sup>2</sup>. La partie modélisation proprement dite ne sera pas discutée ici.

---

<sup>1</sup> Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments, devenue ANSES, Agence Nationale de Sécurité Sanitaire en 2010

<sup>2</sup> cette deuxième étude inclut un volet sédimentologique, mené avec l'ENTPE (Laboratoire des Sciences de l'Environnement), l'US Geological Survey, le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (CNRS-CEA), volet qui ne sera pas présenté ici.

La première étude a donc consisté à déterminer des facteurs d'accumulation sédiment - poisson (BSAF *biota to sediment accumulation factor*) ; ces indicateurs permettent de représenter la propension des organismes à se contaminer à partir du sédiment, et à comparer des sites entre eux. Eu égard aux données disponibles dans le bassin du Rhône, à savoir des résultats d'analyse de sédiments superficiels et de poissons collectés séparément mais sur des périodes concordantes sur un certain nombre de sites, on a procédé à la reconstitution des distributions de BSAF par tirages aléatoires dans les deux jeux de données et calcul de  $10^4$  valeurs de BSAF par espèce et par site (bootstrapping). On obtient donc une distribution (médiane, quartiles ...) des BSAF par espèce et par site pour l'ensemble du bassin - avec une limite imposée par la robustesse recherchée : 75 sites et 10 espèces seulement sélectionnés. Les BSAF du chevesne (espèce pélagique « opportuniste », dont l'alimentation est variée) et de manière plus surprenante de la carpe (espèce benthique<sup>3</sup>) sont très faibles. On trouve ensuite une gamme de valeurs de BSAF plus élevées, pour des espèces soit pélagiques comme la tanche ou le gardon, soit benthiques comme la brème commune. Deux espèces ressortent particulièrement, l'anguille (espèce migratrice, benthique et très grasse) et le barbeau fluviatile, qui vit dans des zones courantes mais se nourrit au fond. Lorsqu'on applique la procédure de calcul des BSAF en séparant les échantillons de poissons qui dépassent la norme alimentaire (8 pg TEQ.g<sup>-1</sup> en poids frais ; TEQ = équivalent toxique dioxine) et ceux qui ne dépassent pas, on constate que les BSAF sont plus élevés dans le groupe des poissons excédant la limite réglementaire, et que les sédiments auxquels ils ont été exposés sont dans l'ensemble plus contaminés, confirmant le rôle du sédiment dans le processus de contamination. Toutefois les plages de concentrations en PCB des sédiments des deux groupes se recouvrent, suggérant des variations de biodisponibilité des PCB selon les sites.

La deuxième étude associait une démarche expérimentale basée sur l'échantillonnage et l'analyse de 3 espèces de poissons, la brème commune, le chevesne et le barbeau fluviatile, et de leurs proies. L'intention est d'utiliser les données expérimentales pour elles-mêmes via une analyse statistique, et pour contribuer à calibrer un modèle numérique à base physiologique qui ne sera pas discuté ici mais dont la construction bénéficie des connaissances acquises dans le cadre de cette

<sup>3</sup> Vivant donc au fond, au contact du sédiment

étude sur les voies de contamination. Sur 3 sites (lône de la Morte à Brégnier-Cordon, plan d'eau du Grand Large et lône de l'île du Beurre, ont donc été collectés des poissons (objectif plus ou moins atteint : 15 individus adultes par espèce), et des invertébrés de 4 groupes (mollusques : corbicules et pisidiums ; insectes : larves de chironomes, éphémères ; crustacés : gammare) préalablement identifiés comme étant des proies privilégiées pour ces poissons. Outre les PCB, les analyses incluaient les isotopes froids du carbone et de l'azote ; les contenus stomacaux ont également été systématiquement examinés, et les caractéristiques biométriques (taille, poids) relevées au moment de la capture, complétées ensuite par le sexe et l'âge (scalimétrie).

La contamination peut se faire par deux voies, d'inégale importance : par les branchies, donc la voie respiratoire, et par la voie digestive, dite aussi voie trophique. L'examen des contenus stomacaux offre une vision instantanée de la nourriture absorbée, tandis que les isotopes stables procurent une vision moyenne à plus long terme. Le  $\delta^{13}\text{C}$  renseigne sur l'origine du carbone à la base du réseau trophique (source d'énergie), tandis que le  $\delta^{15}\text{N}$ , qui augmente de la proie au prédateur, renseigne sur la position dans la chaîne alimentaire (position trophique). Dans notre étude, les contenus stomacaux montrent des variations entre espèces, mais aussi selon les sites pour une même espèce. Bien que le chevesne et le barbeau soient plus opportunistes, la comparaison des contenus stomacaux avec la faune invertébrée présente sur les sites montrent que les poissons choisissent ce qu'ils consomment. En revanche, les résultats de l'analyse du  $\delta^{13}\text{C}$  montrent un lien entre contamination par les PCB et source de carbone exploitée : les poissons les moins contaminés privilégient du carbone apporté par les algues pélagiques (C autochtone), les plus contaminés sont plus marqués par du carbone d'origine détritique (matière organique dégradée présente dans les sédiments). Il convient de noter que cela ne signifie pas nécessairement que les poissons consomment directement du sédiment, il peut y avoir des intermédiaires.

Cette association entre carbone d'origine détritique et contamination confirme le rôle du sédiment dans le processus de contamination, par une approche cependant différente de la première étude. L'ensemble des données a ensuite été traité par régression log-linéaire pas à pas descendante, visant à expliquer la contamination de la chair des poissons par l'ensemble des variables disponibles : taille, poids, âge, position trophique, proportion de carbone d'origine détritique dans l'alimentation, teneur en lipides, sexe et niveau maximum de

concentration dans le sédiment pour la période d'exposition. Dans cette approche on commence par établir un modèle général, dont on retire une à une les variables ayant un effet non significatif pour finalement obtenir le modèle expliquant la plus grande part de variabilité (de la contamination) avec le minimum de variables explicatives.

On obtient ainsi un modèle statistique expliquant 78% des variations de la contamination par la taille des poissons, la proportion de carbone d'origine détritique dans leur alimentation, et la concentration maximum en PCB dans le sédiment<sup>4</sup>. Ce modèle pourrait être utilisé dans un but prédictif : seuls 4 échantillons (des chevesnes) du jeu de données sont prédits inférieurs au seuil en étant supérieurs dans la réalité. Pour 3 d'entre eux on est dans la marge d'erreur analytique.

Les trois espèces étudiées (barbeau fluviatile, brème commune et chevesne) démontrent des aptitudes bien différenciées à l'accumulation des PCB, en relation avec leur habitat et leur régime alimentaire. Cependant pour une même espèce à un même site les « signatures isotopiques » peuvent varier largement. La chevesne, opportuniste et exploitant préférentiellement des proies inféodées à du carbone d'origine autochtone est peu contaminé, tandis que les brèmes et barbeaux sont plus contaminés, et plus liés (avec une certaine variabilité) au carbone d'origine détritique. Ainsi on peut confirmer le rôle central du sédiment dans le processus de contamination des poissons ; les résultats obtenus dans ces deux études ouvrent la voie à la détermination d'un seuil de qualité des sédiments qui permettrait, avec un degré de certitude raisonnable, la consommation des poissons.

---

<sup>4</sup> obtenue des carottes de sédiments étudiées dans le volet sédimentologie du projet, en sélectionnant la section de carotte en correspondance avec l'âge des poissons



## Comment les poissons se contaminent par les PCB ?

*Éléments de réponse pour quelques espèces d'eau douce*

Marc BABUT, Annie ROY & Christelle LOPES Cemagref



Lyon, jeudi 20 janvier 2011

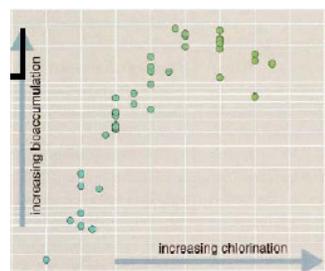
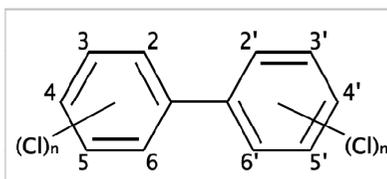
## Introduction

- Problématique récurrente depuis ~30 ans
  - Regain d'intérêt en France depuis 2005
  - Préoccupations européennes
    - stratégie de réduction de l'exposition des populations aux dioxines et substances apparentées (directive 2006/13/CE modifiant la dir. 2002/32/CE)
    - interrogation sur la toxicologie des PCB « NDL » (EFSA)
    - Directive 2000/60 – révision de la liste des substances prioritaires
- Questions « entendues » 2005-2006
  - Espèces concernées / à surveiller ou réglementer
  - Tendances à moyen / long terme

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Polychlorobiphényles (PCB)

- Stabilité chimique et physique – faible réactivité
- Peu solubles dans l'eau
  - solubles dans les graisses → bioaccumulables / bioamplifiés
- Faiblement métabolisés
  - ± selon N chlore



Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Contexte - sources

- Les facteurs susceptibles d'influencer la variabilité inter- et intra-spécifique (propriétés PCB, facteurs physiologiques, écologiques) sont généralement étudiés séparément ...
- Base(s) de données en ligne développées dans le cadre du plan régional d'actions
  - Relations entre contamination des sédiments et des poissons à l'échelle du bassin du Rhône
- « étude trophique » du plan national d'actions sur les PCB
  - Identifier, pour des espèces clé, les principales voies d'exposition et les facteurs de contrôle
  - Décrire le transfert des PCB dans le réseau trophique de ces espèces (*food-web bioaccumulation model*)

• <https://tsip-pcb.cemagref.fr/>

• [http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/usages-et-pressions/pollution\\_PCB/basepcb/index.php](http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/usages-et-pressions/pollution_PCB/basepcb/index.php)

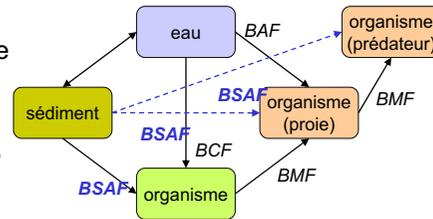
Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Approche à large échelle

- Objectif : détermination de BSAF (facteurs d'accumulation sédiment – poisson)
- Permet de
  - classer les espèces selon leur aptitude à la bioaccumulation
  - Comparer des sites entre eux
- Sélection des données dans 2 bases distinctes
- Calcul de BSAF par bootstrapping

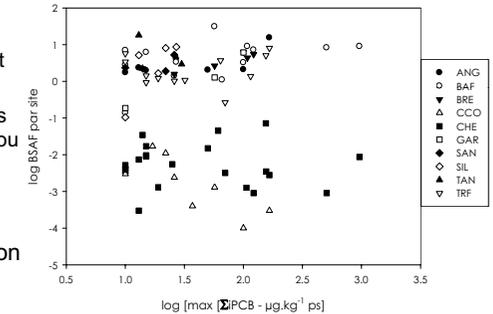
$$BSAF = \frac{C_i}{C_{soc}} = \frac{C_{org}/f_i}{C_{sed}/f_{soc}}$$

- $C_{org}$  concentration dans l'organisme ( $\mu\text{g.kg}^{-1}$  poids frais),
- $C_{sed}$  concentration dans le sédiment ( $\mu\text{g.kg}^{-1}$  poids sec),
- $f_i$  fraction lipidique (g lipides / g poids frais),
- $f_{soc}$  fraction organique du sédiment (g carbone organique / g poids sec)



## Résultats BSAF

- Pour chaque espèce à chaque site  $\Rightarrow$  distribution des BSAF
- Classement
  - Faibles BSAF pour chevesne et carpe commune
  - BSAF plus élevés pour espèces benthiques (brème commune) ou pélagiques (gardon)
  - Forts BSAF pour anguille et barbeau fluviatile
- Séparation des échantillons selon dépassement norme TEQ :
  - Sédiments plus contaminés
  - BSAF plus élevés
  - Biodisponibilité PCB ?

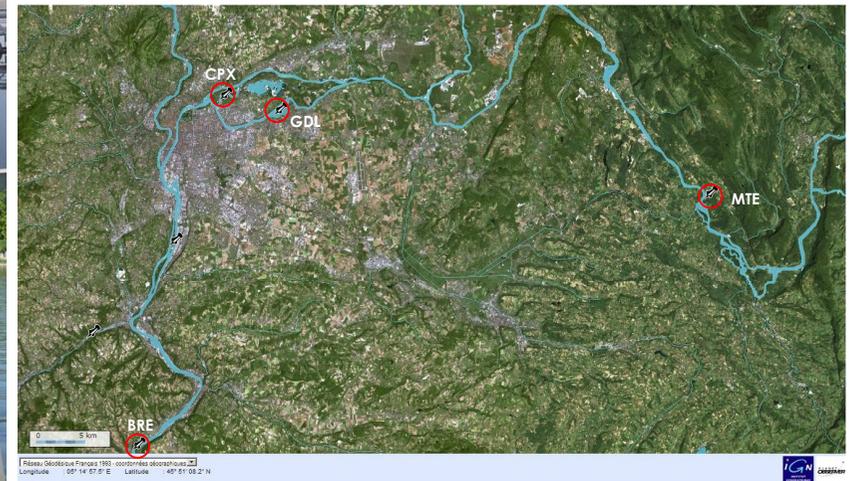


## Transfert des PCB du sédiment aux poissons (étude trophique)

- Approche expérimentale
  - Échantillonnage et analyse poissons
    - Caract. biométriques
    - Contenus stomacaux,  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{15}\text{N}$
    - PCBi
  - Échantillonnage et analyse invertébrés (PCB,  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{15}\text{N}$  ...)
- Analyse statistique
- Modélisation – modèle à base physiologique (non présenté)

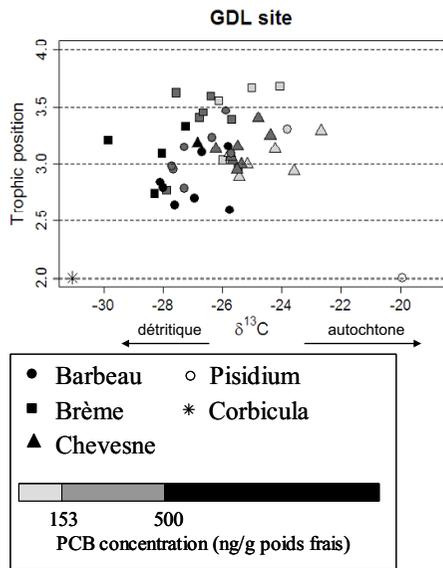


## Sites d'étude



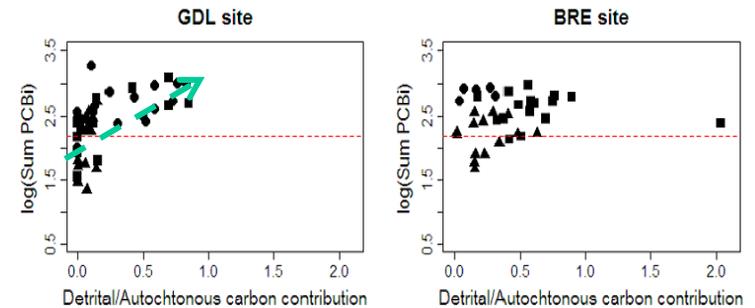
## Voies de contamination

- 2 voies possibles
  - Respiratoire (minoritaire)
  - Trophique
- Régimes alimentaires
  - Contenus stomacaux : vision instantanée
  - Isotopes stables : régime moyen, position trophique
- Contenus stomacaux
  - Variations entre espèces et entre sites (même espèce)
  - Chevesnes et barbeaux plus opportunistes
  - Régimes « choisis »
- Isotopes : lien entre contamination et source de C



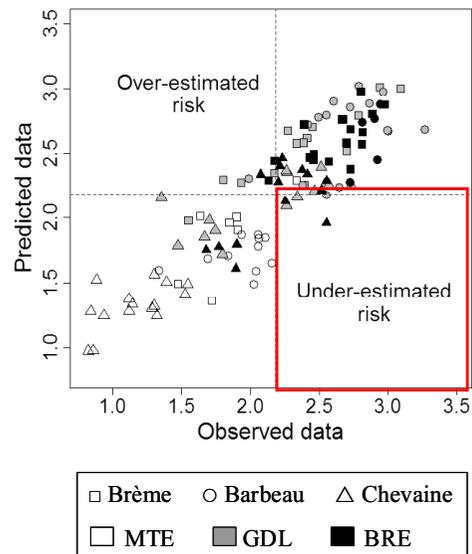
## Voie trophique - rôle du sédiment

- Contamination aux PCBs augmente avec l'exploitation du carbone détritique
  - Confirmation de l'importance du sédiment dans le processus de bioaccumulation des PCB le long du réseau trophique



## Modélisation statistique

- Régression pas à pas descendante sur un modèle log-linéaire
  - expliquer le niveau de contamination selon : taille, poids, âge, TP, % de carbone détritique, % MG, sexe et niveau de concentration max. dans le sédiment
- 78% de la variabilité totale expliquée par
  - Taille, %C détritique, C<sub>sed</sub>-max PCB<sub>i</sub>



## Conclusion

- Choix des espèces indicatrices : barbeau, brème et chevesnes représentatifs de différentes aptitudes à la bioaccumulation
- Forte variabilité intra-spécifique des signatures isotopiques – contenus stomacaux (des adultes) similaires
  - Chevesne exploite préférentiellement des proies vectrices de Carbone d'origine autochtone – peu contaminé
  - Brème et barbeau plus opportunistes au Grand Large (disponibilité des proies) – plus contaminés
- Rôle central du sédiment (C détritique) dans la contamination par les PCB

## **Evaluation de réduction des impacts biologiques des rejets de stations d'épuration urbaines**

---

Luis CASTILLO, Centre de Recherche sur l'Eau –  
VERI – Veolia Environnement Recherche et Innovation



# ***Evaluation et réduction des impacts biologiques des rejets de stations d'épuration urbaines***

---

Luis Castillo, Veolia Environnement Recherche et Innovation (VERI), Centre de Recherche sur l'Eau

Devant la multiplicité et la diversité des composés chimiques pouvant être potentiellement retrouvés dans les divers compartiments environnementaux, et l'absence avérée de techniques d'analyses performantes pour l'ensemble de ces composés dans l'environnement, il est nécessaire de définir des démarches systémiques pour l'évaluation des impacts environnementaux et/ou sanitaires de ces composés.

Appréhender les risques pour les écosystèmes passe obligatoirement par la mesure de l'effet des perturbations apportées sur les organismes vivants exposés. La mesure d'un effet globale est certes indicatrice en premier lieu de la présence d'un effet. Néanmoins, si un meilleur abattement de certaines familles de molécules en vue d'améliorer les procédés de traitement est ciblé, il est plus pertinent de déployer des tests de mesure d'effets biologiques spécifiques. Ils permettent de plus de couvrir une multitude de composés, ce qui n'est pas autorisé par les méthodes physico-chimiques seules.

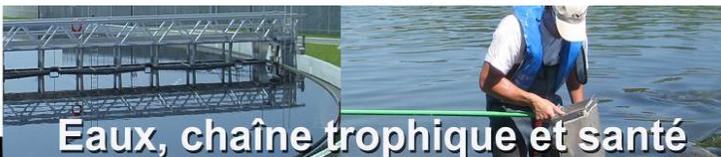
L'intérêt de l'utilisation de méthodologies de mesure des effets biologiques globaux et/ou spécifiques est de plus accentué par 2 constats :

- Les matrices environnementales concernent plus souvent des mélanges : la mesure de l'effet permet d'avoir une analyse globale d'un éventuel impact sur les écosystèmes ou sur l'homme au contraire de l'analyse composé par composé,
- Les faibles concentrations ( $\text{ng.L}^{-1}$  ou  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) retrouvées que ce soit dans les rejets de stations d'épuration ou dans le milieu récepteur ou un autre compartiment environnemental peuvent être potentiellement impactantes pour les écosystèmes : les méthodes analytiques ne sont pas toujours aussi sensibles que la réponse à un effet sur les organismes cible.

Dans ce contexte, l'un des objectifs de l'étude présentée est de déterminer dans quelle mesure les perturbateurs endocriniens, et éventuellement les autres polluants émergents, sont un problème à prendre en compte sur la station d'épuration urbaine.

Parmi les activités de recherche pour répondre à la question précédente, l'identification des effets biologiques complexes de certains polluants chimiques et de leurs métabolites, particulièrement la perturbation endocrinienne (thyroïdienne et estrogénique), susceptibles d'être présents dans les rejets de station d'épuration est étudiée. Pour ce faire une technologie reposant sur la création et utilisation de modèles amphibiens qui s'allument en réponse à un effet biologique est utilisée. Le principe de base est de réaliser des constructions génétiques permettant l'expression d'une protéine fluorescente sous le contrôle d'éléments de réponse spécifiques d'un effet physiologique donné.

Des campagnes de mesure pour évaluer l'impact biologique des rejets d'une station d'épuration urbaine ont ainsi été réalisées. Les résultats montrent que le passage dans la filière de traitement réduit ou élimine le potentiel de perturbation estrogénique et thyroïdienne des eaux usées urbaines.



## ÉVALUATION ET RÉDUCTION DES IMPACTS BIOLOGIQUES DES REJETS DE STATIONS D'ÉPURATION URBAINES

Luis Castillo, Veolia Environnement Recherche et Innovation, Centre de Recherche sur l'Eau



Lyon, jeudi 20 janvier 2011



## Sommaire

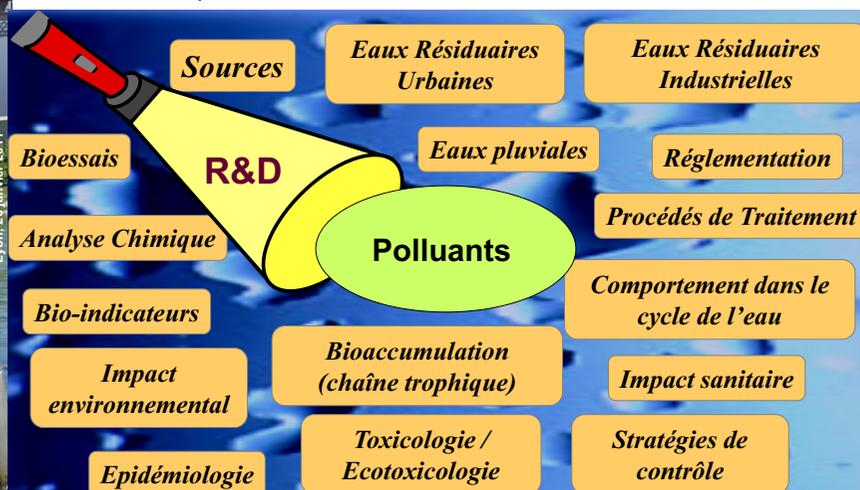
1. Contexte
2. La surveillance environnementale
3. Exemples d'évaluation des effets biologiques
4. Conclusions



Lyon, jeudi 20 janvier 2011

## 1. CONTEXTE

- Polluants chimiques et biologiques
  - Problème complexe de surveillance nécessitant un approche multidisciplinaire.



Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Pourquoi identifier/évaluer/réduire les polluants?



Protéger et gérer les ressources naturelles



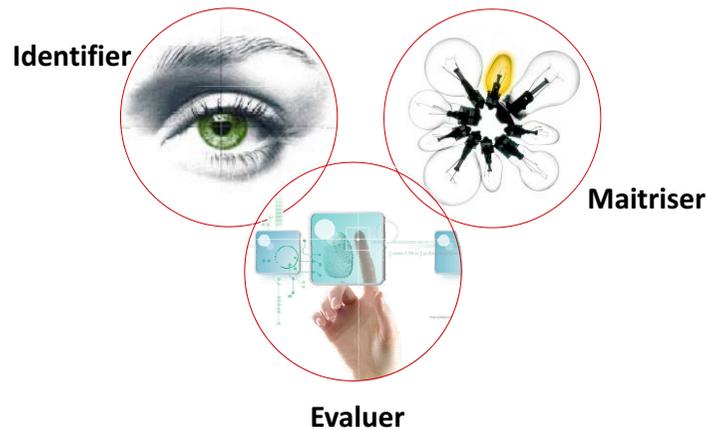
Limiter les impacts sur les milieux naturels



Améliorer la santé et le cadre de vie

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Créer des solutions novatrices



Eaux, Chaîne trophique & Santé

## 2. La surveillance environnementale (pour quoi faire?)

- Pour estimer la présence ou l'absence d'un polluant.
- Pour évaluer le comportement de ce polluant.
- Pour identifier les émissions, pour développer des stratégies de contrôle et pour évaluer l'efficacité des efforts de traitement.
- Pour évaluer les risques environnementaux et sanitaires.

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Les outils de surveillance : l'analyse chimique

- L'analyse chimique est un élément clef dans le processus d'obtention des données environnementales.
  - Enormes progrès.
  - Des milliers de nouveaux (émergents) composés
  - Carence de méthodes abordables pour l'analyse en routine
- D'importantes ressources ont été et seront allouées pour l'analyse.
- Toutefois, cette approche ne permet pas d'évaluer les effets biologiques.

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Les outils de surveillance : l'évaluation des effets

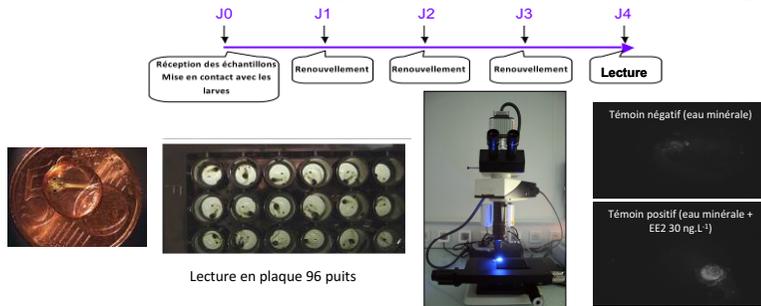
- Description des mécanismes d'action des contaminants: mimique, stimulateurs, destructeurs
- Evaluation directe des effets sur les organismes: toxicité globale, perturbation endocrine, neurotoxicité, génotoxicité, allergène, immunotoxicité...
- Evaluation directe des effets sur les écosystèmes des expositions à faible dose et à long terme
- Les bio essais représentent une meilleure option pour l'évaluation des risques environnementaux et sanitaires.

Eaux, Chaîne trophique & Santé

### 3. Evaluation des effets biologiques

#### ■ Description de l'étude

- Objectif
  - Déterminer dans quelle mesure les perturbateurs endocriniens, et éventuellement les autres polluants émergents, sont un problème à prendre en compte sur la station d'épuration urbaine.
  - Evaluation et réduction des impacts biologiques des rejets de station d'épuration urbaine.
- Protocole de l'essai biologique (réalisés par la société WatchFrog)



Eaux, Chaîne trophique & Santé

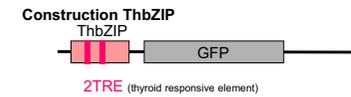
### 3. Evaluation des effets biologiques

#### ■ Mesure d'un effet spécifique

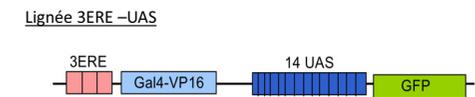
- Détection au niveau génétique de l'impact **global** des polluants présents dans l'eau au sein d'un organisme vertébré amphibien ou poisson.
- Emission de fluorescence lorsque la fonction biologique est activée
- Visualisation par un système d'imagerie robotisée

#### ■ La perturbation endocrinienne

##### - L'axe thyroïdien

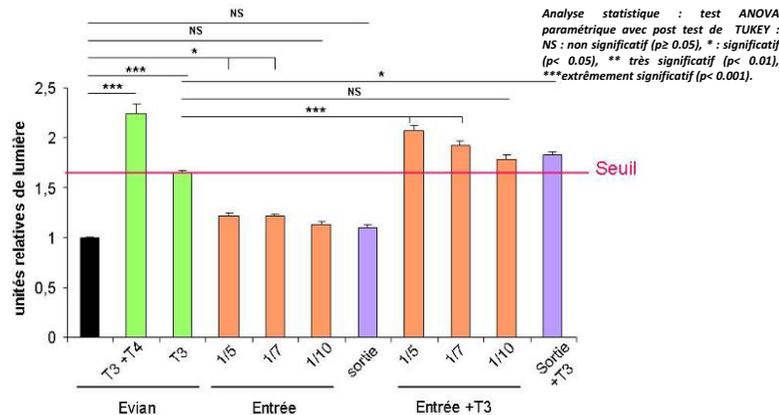


##### - L'axe estrogénique



Eaux, Chaîne trophique & Santé

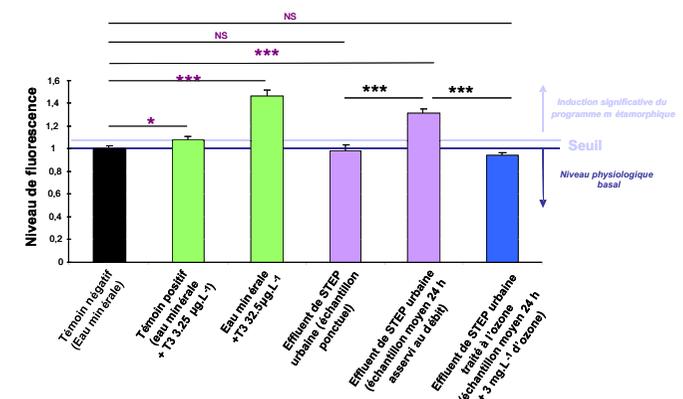
### L'impact sur l'axe thyroïdien des eaux usées



- Influent clairement identifié comme présentant un effet potentiel de perturbation thyroïdienne.
- Effluent présente un potentiel faible de perturbation thyroïdienne qui reste à approfondir lors d'autres campagnes de surveillance.

Eaux, Chaîne trophique & Santé

### L'évaluation de l'efficacité d'un traitement supplémentaire



- L'ozonation permet de réduire significativement l'impact biologique des rejets de STEP sur l'activité thyroïdienne normal des organismes (dans nos conditions d'essai).

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## La problématique des essais biologiques

- Différents types de bio essais : organisme entier (tests *in vivo*), lignées cellulaires (tests *in vitro*) ; réponse rapide ou lente en fonction des objectifs
- Différentes stratégies peuvent être utilisées pour interpréter ou intégrer les résultats.
- Les résultats peuvent être facilement affectés par différentes circonstances (pH, température...)
- Le choix de l'organisme test est hautement important
- Difficultés pour évaluer les mélanges de composés
- Le paradigme que l'effet est proportionnel à la concentration doit changer.

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Conclusion

- Le passage dans la filière de traitement réduit ou élimine le potentiel de perturbation estrogénique et thyroïdien des eaux usées urbaines.
- Nous sommes confrontés à des milliers de « nouveaux composés » (1 composé = 1 risque ?)
- Il n'existe pas de méthodes d'analyse chimique ou biologique qui puissent nous permettre d'évaluer la totalité des composés chimiques/risques.
- Il n'existe pas une démarche systémique pour évaluer très en amont les nouveaux risques.

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Besoins

- La caractéristique principale de tout programme de surveillance/évaluation est de lister ce qui doit être surveillé et comment cette surveillance doit être mise en place et l'échelle de temps sur laquelle elle doit être réalisée.
- Il faut développer de nouveaux et plus sensibles bioessais afin de mieux comprendre les interactions entre les composés chimiques et leurs effets biologiques.
  - Discuter des questions cruciales sur les avantages, les hypothèses et les incertitudes dans l'interprétation des résultats de l'essai biologique et les besoins et exigences pour permettre l'utilisation opérationnelle de ces outils pour les décideurs (NORMAN WG).
  - Des travaux sur l'acceptation réglementaire doivent être faits.
  - Les difficultés liées à l'extrapolation des essais *in vitro* et *in vivo* doivent être levées.
- Une étude épidémiologique détaillée liée à l'eau doit être effectuée et les données devraient être rassemblées et communiquées.

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## MERCI DE VOTRE ATTENTION!



Eaux, Chaîne trophique & Santé



## **Identification des sources de pollution fécale :** Application en milieu littoral

---

Michèle GOURMELON, IFREMER Brest



# Identification des sources de pollution fécale : application en milieu littoral

---

Michèle GOURMELON, Ifremer, centre de Brest

La présence dans les eaux et les coquillages de microorganismes d'origine fécale potentiellement pathogènes pour l'homme peut conduire à des infections ou des toxi-infections ainsi qu'à la fermeture ou le déclassement de zones conchylicoles ou de baignades. Aussi, il s'avère nécessaire d'identifier l'origine des contaminations dans les eaux et les coquillages pour diminuer le risque sanitaire en mettant en place des mesures préventives et/ou curatives en amont de ces zones.

De nombreux efforts de recherche ont été réalisés ces dernières années afin de disposer d'outils permettant de distinguer les sources de contamination fécale humaine des contaminations animales et de différencier les espèces animales entre elles. Ces méthodes (Traceurs de Sources Microbiennes, TSM ou Microbial Source Tracking, MST) sont basées sur la recherche de cibles microbiennes ou chimiques présentes dans le tractus intestinal de l'homme ou de l'animal et dans les effluents d'origine fécale.

Depuis 2005, le laboratoire EMP/MIC d'Ifremer développe et teste dans l'environnement des outils analytiques d'identification des sources de contamination fécale basées principalement sur deux approches : les marqueurs *Bacteroidales* spécifiques de l'hôte (essentiellement humain, ruminant et porc) par Polymerase Chain Reaction (PCR) en temps réel et les génogroupes humains (II et III) et animaux (I et IV) des bactériophages F-ARN spécifiques par culture/génotypage par RT-PCR (Reverse Transcriptase-PCR).

Dans le cadre des projets « Traces »<sup>1</sup> et « Marquopoleau »<sup>2</sup>, le laboratoire s'est associé à d'autres laboratoires de recherche, à des laboratoires d'analyses des eaux et à des utilisateurs finaux ou gestionnaires des eaux pour (i) développer des méthodes TSM microbiologiques (marqueurs *Bacteroidales*, *Bifidobacterium*

*adolescentis*, *Lactobacillus amylovorus* et bactériophages F-ARN spécifiques) et chimiques (tels que les stérols fécaux, la caféine, des parfums ou des retardateurs de flamme) pour identifier l'origine des contaminations dans les eaux, (ii) les comparer et sélectionner les méthodes les plus pertinentes et enfin, (iii) les transférer à des laboratoires d'analyse des eaux. Dans le cadre du projet Marquopoleau, la persistance de ces marqueurs microbiologiques et chimiques en eau de rivière et en eau de mer a été également évaluée et comparée à celle des indicateurs de contamination fécale classiques.

Parallèlement à ces études, afin d'identifier l'origine des contaminations fécales au niveau du littoral, les marqueurs microbiens développés au laboratoire ont été également appliqués sur des coquillages. Dans un premier temps, différents protocoles de détection/quantification des marqueurs microbiens ont été sélectionnés et comparés sur des huîtres artificiellement contaminées. Les protocoles les plus performants ont été ensuite appliqués sur des lots d'huîtres, provenant de 6 sites de prélèvement le long de l'estuaire de L'Elorn (29) et collectés au cours de 3 campagnes de prélèvement (mars-mai 2010). Les résultats obtenus montrent une contamination essentiellement d'origine humaine au niveau de cet estuaire avec de plus fortes contaminations lors de la 1<sup>ère</sup> campagne qui présentait une plus forte pluviométrie (30 mm pendant les 48 heures précédant le prélèvement).

Pour conclure, l'approche des marqueurs TSM apparaît pertinente pour identifier l'origine de la contamination microbienne des eaux et reconquérir la qualité de ces eaux. Toutefois, des développements méthodologiques pour les coquillages et l'acquisition d'une plus grande quantité de données sur des sites naturellement contaminés (études bassins versants ...) sont encore nécessaires.

<sup>1</sup> Traces : 2006-2010. Cemagref, Université Européenne de Bretagne, Rennes (coord.), Ifremer, Brest, INRA, Narbonne, CNRS Géosciences, Rennes, Université d'Angers, INRA AgroCampus, Rennes. Financement ANSES

<sup>2</sup> Marquopoleau : 2009-2012. IDHESA, Plouzané (coord.), Ifremer, Brest (resp. scientifique), Cemagref, Université Européenne de Bretagne, Rennes, CNRS Géosciences, Rennes, Université d'Angers, IPL Maxéville, ARS Bretagne, Rennes, Brest Métropole Océane, Brest et Agence de L'eau Loire Bretagne, Nantes. Financement FUI, Région Bretagne, Conseil Régional de Bretagne, CG du Morbihan, CG du Finistère et de Brest métropole océane



## Identification des sources de pollution fécale : application en milieu littoral

Michèle Gourmelon, Ifremer



Lyon, jeudi 20 janvier 2011



Déjections d'animaux d'élevage



Effluents et boues issus des stations d'épuration



Rejets des habitations non connectées aux réseaux



Faune sauvage



Pollution microbologique et chimique qui participe à la dégradation de la qualité des eaux de surface



Eaux de baignade



Zones conchylicoles

Eaux, Chaîne trophique & Santé



## Comment tracer les pollutions fécales ?

Méthodes normalisées de détection de la pollution fécale

2 indicateurs de contamination fécale



E. coli

☺ origine fécale  
☹ impossibilité de différencier l'origine humaine/animale



Entérocoques intestinaux

Eaux, Chaîne trophique & Santé



## Comment tracer les pollutions fécales ?

- Techniques permettant de mettre en évidence l'origine humaine ou l'origine animale d'une pollution
  - ?
- Recherche de composés présents dans les rejets d'origine fécale – Traceurs de Sources Microbiennes (TSM – Microbial Source Tracking - MST)
  - Microorganismes**
    - Bactéries : *E. coli*, entérocoques, *Bacteroidales*, *Bifidobacterium*
    - Virus : *bactériophages*, virus entériques
    - Parasites : oocystes de *Cryptosporidium spp.*
  - Composés naturels ou de synthèse** : caféine, stéroïdes fécaux, parfums ...
  - ADN mitochondriaux des cellules eucaryotes** : ex. cellules humaines

Eaux, Chaîne trophique & Santé



## Comment tracer les pollutions fécales ?

Besoin d'outils analytiques pour identifier les sources de pollution

Nombreux travaux scientifiques sur des traceurs de sources microbiennes mais 1 seule méthode ne permet pas de tracer avec certitude l'origine des pollutions fécales (Blanch *et al.*, 2006)

### « Traces »

(Coord. Cemagref) - 2007-2010

- 6 organismes de recherche

### « Marquopoleau »

(Coord. IDHESA, Resp. scient. Ifremer) - 2009-2012

- 4 organismes de recherche
- 3 laboratoires d'analyse des eaux
- Agence de l'Eau Loire-Bretagne
- ARS Bretagne
- Brest Métropole Océane (collectivités)

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Objectif (projet Traces – 2007-2010)

Développer, sélectionner et valider de nouveaux outils analytiques fondés sur l'identification de marqueurs permettant de déterminer l'origine humaine ou animale de la pollution fécale

## Finalité (projet Marquopoleau – 2009 -2012)

Fournir aux acteurs de l'eau les bases scientifiques et les outils nécessaires aux évaluations d'impact et de risques liés aux contaminations fécales

Mise sur le marché de méthodes d'analyse (marqueurs TSM) utilisables par les laboratoires d'analyse des eaux

**Applications : profils de baignades, identification de l'origine de la contamination sur différents sites ...**

**Originalité de ces projets : approche pluridisciplinaire**

Eaux, Chaîne trophique & Santé

Les deux principales phases du projet « Traces\* » :

### I – Développement de marqueurs microbiologiques et chimiques des sources de contaminations fécales

CEMAGREF Rennes  
IFREMER Brest  
INRA Narbonne

#### Marqueurs microbiens

Marqueurs bactériens par PCR en temps réel,  
Génotypage des bactériophages F ARN spécifiques

Université d'Angers, LEESA  
CNRS Géosciences- Rennes  
INRA Agrocampus, Rennes

#### Marqueurs chimiques

Composés chimiques et stéroïdes

Développement et test sur des échantillons fécaux et des effluents d'origine humaine ou animale

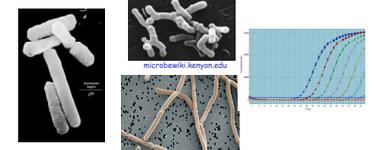
### II - Comparaison des méthodes sur des échantillons d'eaux environnementales

\* Financement du projet par l'ANSES

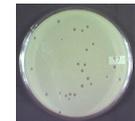
Eaux, Chaîne trophique & Santé

## I – Développement des marqueurs microbiologiques et chimiques des sources de contaminations fécales

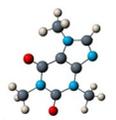
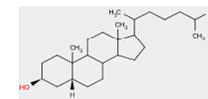
■ Les marqueurs bactériens



■ Les marqueurs viraux : les bactériophages F-ARN spécifiques



■ Les stéroïdes fécaux



■ Les composés chimiques naturels ou de synthèse d'origine humaine



Eaux, Chaîne trophique & Santé

**Les marqueurs bactériens spécifiques de l'hôte : protocole expérimental pour les marqueurs *Bacteroidales***

Fèces et effluents d'origine humaine, porcine, bovine et aviaire

Application sur des eaux environnementales

Extraction des ADN et amplification par PCR des gènes codant les ARN 16S de *Bacteroidales*

Test de la sensibilité et spécificité sur des échantillons fécaux

Clonage et séquençage (96 clones/type d'échantillon)

Analyse phylogénétique

Dessin d'amorces et de sondes

>PigFeces36 ...AATG**CAGCGGCTCAACCGTAT**GATG...  
 >PigFeces85 ...AGTG**CAGCGGCTCAACCGTAT**GATG...  
 >HumanFeces75 ...AAGTGGGGGAATTCGTGGTGTAGC...  
 >HumanFeces91 ...AAGTGGGGGAATTCGTGGTGTAGC...

Thèse : S. Mieszkin

Eaux, Chaîne trophique & Santé

**Les marqueurs bactériens spécifiques de l'hôte : détection par PCR en temps réel**

Dessin et sélection des amorces et des sondes

- Marqueurs *Bacteroidales* spécifiques de l'homme (Hf183), des ruminants (Rum-2-Bac), des porcs (Pig-1-Bac et Pig-2-Bac)
- Marqueur spécifique des porcs : *Lactobacillus amylovorus*
- Marqueur spécifique de l'homme : *Bifidobacterium adolescentis*

Evaluation de la sensibilité et de la spécificité sur des échantillons fécaux

Sensibilité : Pourcentage de résultats positifs quand le marqueur a été testé sur des ADN cibles  
 Spécificité : Pourcentage de résultats négatifs quand le marqueur a été testé sur des ADN non cibles

Marqueurs	Sensibilité (n)	Spécificité (n)
HF183	76 (41)	100 (99)
<i>B. adolescentis</i>	92 (17)	94.5 (73)
Pig-1-Bac	98 (69)	88 (81)
Pig-2-Bac	100 (69)	99 (81)
<i>L. amylovorus</i>	100 (76)	96 (128)
Rum-2-Bac	93 (44)	89 (57)

Eaux, Chaîne trophique & Santé

**I - Marqueurs microbiologiques et chimiques développés et sélectionnés**

1 - Marqueurs bactériens par PCR en temps réel  
*Bacteroidales* HF183, Rum-2-Bac, Pig-1-Bac et Pig-2-Bac  
*L. amylovorus*  
*B. adolescentis*

2 - Bactériophages F ARN spécifiques :FRNAPH II et FRNAPH I, III, and IV

3 - Stéroïdes fécaux - 2 ratios de stéroïdes :  
 R1 - Sitostanol/Coprostanol ;  
 R2 - Coprostanol/(Coprostanol+24-ethylcop)\*100 Coprostanol

4 - 5 composés chimiques : caféine, TCEP, galaxolide, tonalide, benzophenone

Eaux, Chaîne trophique & Santé

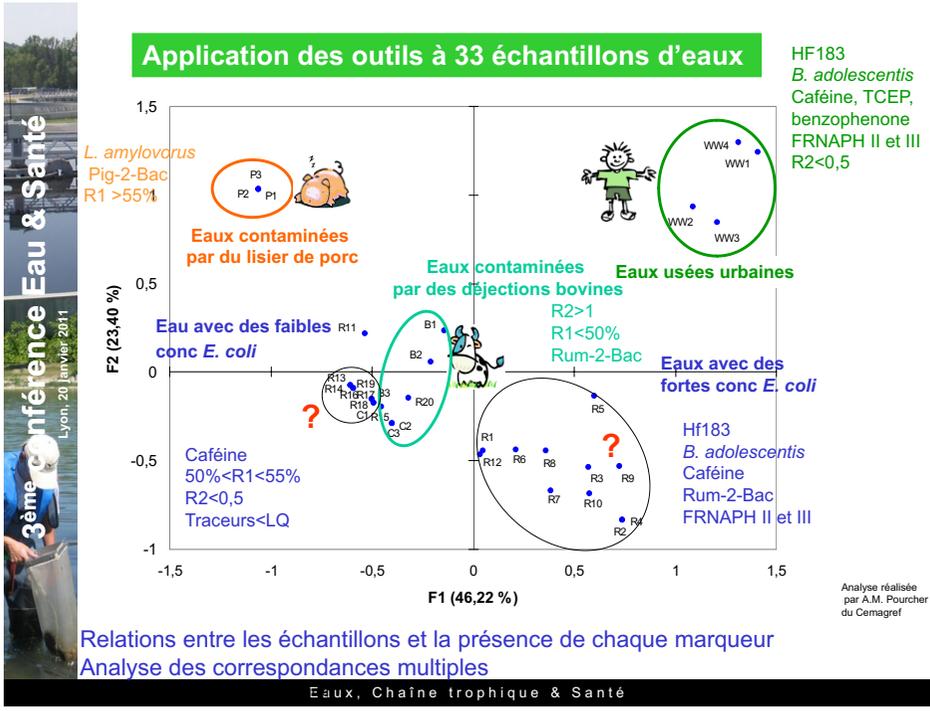
**II – Comparaison des traceurs de sources microbiennes sur des eaux environnementales**

Application de l'ensemble des marqueurs microbiologiques et chimiques sur des échantillons d'eaux de l'environnement

Echantillons d'eaux

- Effluents de stations d'épurations (WW1-4) (n=4)
- Eaux de ruissellement après épandage de lisiers de porcs (P1-3) et de fumiers de bovins (B1-3) (n=6)
- Eaux à proximité de zones de pâturage de bovins (C1-3)(n=3)
- Eaux de rivières impactées par des rejets de stations d'épurations ou par des bovins (R1-20) (n=20)

Eaux, Chaîne trophique & Santé



### Conclusions du projet « Traces »

Les marqueurs microbiologiques et chimiques les plus efficaces pour cibler :

Les contaminations d'origine humaine

- Les composés chimiques : caféine, TCEP, benzophenone
- Les ratios de stéroïdes : R1>60% - Sitostanol/Coprostanol  
 R2<1 - Coprostanol/(Coprostanol+24-ethylcop)\*100
- Les marqueurs bactériens : *Bacteroidales* HF183
- Les bactériophages F-ARN spécifiques – génogroupe II

Les contaminations d'origine animale

- Les contaminations d'origine porcine : **Pig-2-Bac et *L. amylovorus***  
 R1<60%, R2<1
- Les contaminations par les ruminants : **Rum-2-Bac**  
 R1<60%, R2>1

Eaux, Chaîne trophique & Santé

### La suite ... le projet "Marquopoleau\*"

Principales étapes

- I – Evaluation de la persistance des marqueurs en microcosmes
- II – Application des méthodes à l'échelle d'un bassin versant
- II – Transfert des méthodes à des laboratoires d'analyse des eaux - Intercalibration des méthodes

\* Projet labellisé par le pôle de compétitivité Mer Bretagne et financé par le FUI, la région Bretagne, le CG29, le CG35 et Brest Métropole Océane

Eaux, Chaîne trophique & Santé

### Evaluation de la persistance des marqueurs en microcosmes

Mars – Juillet 2010

Microcosmes	Conditions	Paramètres suivis
Eaux environnementales + fèces ou effluents 6 X 100 L	- Eau de rivière (ED) ou eau de mer (EM) - Température ambiante ( 18 °C) - 2 mois de suivi	- Marqueurs TSM - <i>E. coli</i> et les entérocoques (culture)
+ lisier de porcs		- Pig-2-Bac ( <i>Bacteroidales</i> ) - <i>L. amylovorus</i> - Stéroïls et stanols
+ effluent de station d'épuration		- Hf183 ( <i>Bacteroidales</i> ) - <i>B. adolescentis</i> - Stéroïls et stanols - Composés chimiques d'origine humaine
+ bouses de vaches		- Rum-2-Bac ( <i>Bacteroidales</i> ) - Stéroïls et stanols

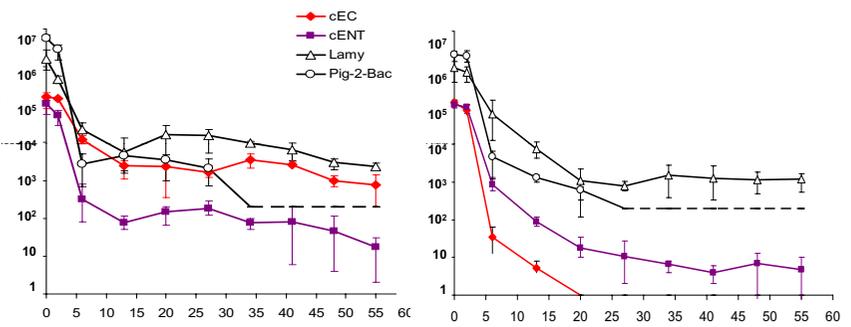
Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Evaluation de la persistance des marqueurs en microcosmes

Exemple : marqueurs TSM Porcs

Eau douce (ED)

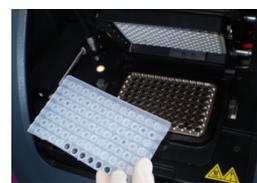
Eau de mer (EM)



- Différence de persistance des indicateurs : *E. coli* et entérocoques
- Différence de persistance des marqueurs TSM Porcs : *L. amylovorus* > Pig-2-Bac

## Transfert des méthodes aux laboratoires d'analyses – Intercalibration des méthodes

Adaptation des méthodes pour des analyses en routine par les laboratoires



Pour des analyses, les laboratoires d'analyse des eaux à contacter :

- IDHESA (29) – Gaël Durand et Hassiba Melikechi
- IPL Maxéville (54) – Emilie Algnos et Thierry Chesnot
- IPL Ploemeur (56) – Cédric Breton

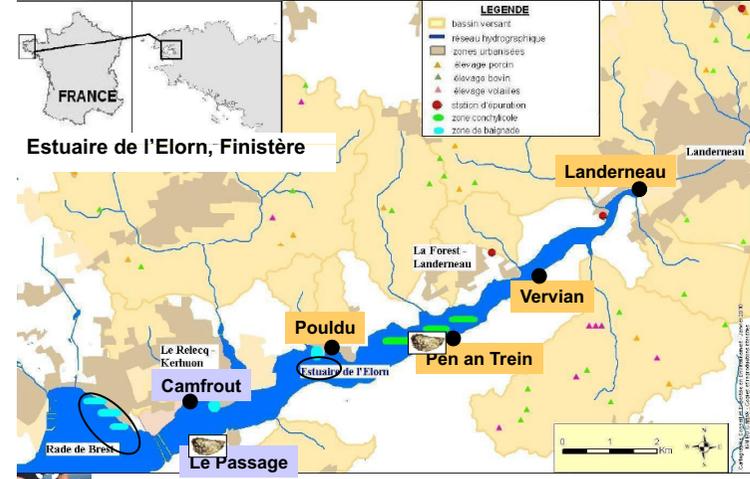
## Ces outils sont-ils applicables aux zones littorales ?

- Eaux estuariennes
- Coquillages : huîtres
- Développements méthodologiques préliminaires au laboratoire
  - Marqueurs *Bacteroidales* : protocoles d'extraction des ADN bactériens, analyse de différentes parties du coquillage
  - Bactériophages F ARN spécifiques
- Application sur un site d'étude : Estuaire de l'Elorn (29)



Etude réalisée à Ifremer

## Application au littoral



- Zones urbanisées
- Elevages en amont
  - Bovins
  - Porcs
  - Volaille
- Zones conchylicoles classées en A ou en B
- Zones de baignades classées en B et en C

6 sites sélectionnés dans l'estuaire, 3 campagnes (2010), 18 eaux estuariennes prélevées

- 4 sites (Landerneau, Vervian, Pen an Trein et Pouldu) susceptibles d'être contaminés par des apports d'origine urbaine et rurale
- 2 sites (Camfrout et Le Passage) susceptibles d'être contaminés principalement par des apports d'origine urbaine

## Application aux eaux estuariennes

Estuaire de l'Elorn, quantification des marqueurs, 1<sup>ère</sup> campagne (30 mm de pluie/48 h)

Sites	<i>E. coli</i> <sup>a</sup>	Hum-1-Bac <sup>b</sup>	Rum-2-Bac <sup>b</sup>	Pig-2-Bac <sup>b</sup>	Phages Humains	Phages animaux
Landerneau	3.3	4.4 ±0.25	NQ <sup>c</sup>	NQ	96 %	4 %
Vervian	5	3.1 ±0.45	NQ	NQ	87 %	13 %
Pen an Trein	3	3.3 ±0.27	3 ±0.26	NQ	91 %	9 %
Plouldu	3.4	NQ	NQ	NQ	91 %	9 %
Camfrou	3.8	3.6 ±0.20	NQ	NQ	100 %	0 %
Le Passage	2.7	NQ	NQ	NQ	87 %	13 %

Estuaire de l'Elorn, quantification des marqueurs, 3<sup>ème</sup> campagne (6 mm de pluie/48 h)

Sites	<i>E. coli</i> <sup>a</sup>	Hum-1-Bac <sup>b</sup>	Rum-2-Bac <sup>b</sup>	Pig-2-Bac <sup>b</sup>	Phages Humains	Phages animaux
Landerneau	3.4	3.8 ±0.20	NQ <sup>c</sup>	NQ	72 %	28 %
Vervian	2.9	NQ	NQ	NQ	76 %	24 %
Pen an Trein	<1.6 <sup>d</sup>	NQ	NQ	NQ	96 %	4 %
Plouldu	<1.6	NQ	NQ	NQ	93 %	7 %
Camfrou	1.9	NQ	NQ	NQ	-	-
Le Passage	2.4	NQ	NQ	NQ	-	-

<sup>a</sup> U. Log<sub>10</sub> NPP/100 ml eau; <sup>b</sup> U. Log<sub>10</sub> copies/100 ml eau; <sup>c</sup> Non quantifié, en dessous de QL=<2.7 U. Log<sub>10</sub> copies/100 ml eau

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Application à des huîtres naturellement contaminées

Estuaire de l'Elorn, 1<sup>ère</sup> campagne (30 mm pluie / 48 h)

Sites	<i>E. coli</i> <sup>a</sup>	Hum-1-Bac <sup>b</sup>	Rum-2-Bac <sup>b</sup>	Pig-2-Bac <sup>b</sup>	Phages humains	Phages animaux
Landerneau	3.1	3.5 ±0.19	NQ <sup>c</sup>	NQ	95 %	5 %
Vervian	3.1	3.8 ±0.16	NQ	NQ	96 %	4 %
Pen an Trein	3.4	4.2 ±0.09	3.9 ±0.24	NQ	80 %	20 %
Plouldu	3.5	4.3 ±0.02	3.9 ±0.17	NQ	17 %	83 %
Camfrou	3.2	4.6 ±0.06	3.6 ±0.23	NQ	16 %	84 %
Le Passage	3.2	4.2 ±0.10	NQ	NQ	50 %	50 %

Marqueurs *Bacteroidales* : analyse sur les liquides intervalvaires ; Phages : analyse sur les tissus digestifs

Estuaire de l'Elorn, 3<sup>ème</sup> campagne (6 mm de pluie/48 h)

Sites	<i>E. coli</i> <sup>a</sup>	Hum-1-Bac <sup>b</sup>	Rum-2-Bac <sup>b</sup>	Pig-2-Bac <sup>b</sup>	Phages humains	Phages animaux
Landerneau	3.5	NQ <sup>c</sup>	NQ	NQ	77 %	23 %
Vervian	2.4	NQ	NQ	NQ	78 %	22 %
Pen an Trein	2.1	NQ	NQ	NQ	100 %	0 %
Plouldu	1.7	NQ	NQ	NQ	52 %	48 %
Camfrou	3.4	5.2 ±0.12	NQ	NQ	49 %	51 %
Le Passage	1.7	NQ	NQ	NQ	-	-

<sup>a</sup> U. Log<sub>10</sub> NPP/100 g de CLI; <sup>b</sup> U. Log<sub>10</sub> copies/100 ml LI; <sup>c</sup> Non quantifié, sous la limite QL=<3.2 U. Log<sub>10</sub> copies/100 ml LI

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Conclusions générales

- L'approche des marqueurs TSM est pertinente pour identifier l'origine de la contamination microbienne des eaux et reconquérir la qualité de ces eaux
- Les marqueurs TSM développés ou sélectionnés dans les projets présentés sont maintenant disponibles au niveau de laboratoires d'analyse des eaux
- Des développements méthodologiques pour les coquillages sont encore nécessaires
- Nécessité d'acquérir plus de données sur des sites naturellement contaminés (études bassins versants ...)

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Ces travaux ont été réalisés par :

M. Gourmelon<sup>1</sup>, M. P. Caprais<sup>1</sup>, S. Mieszkin<sup>1</sup>, C. Le Mennec<sup>1</sup>, C. Marin<sup>1</sup>, R. Marti<sup>2,3</sup>, N. Wéry<sup>4</sup>, E. Jardé<sup>5</sup>, L. Jeanneau<sup>5</sup>, M. Derrien<sup>5</sup>, A. Jadas-Hécart<sup>6</sup>, P.Y. Communal<sup>6</sup>, A. Jaffrezic<sup>7</sup>, G. Durand<sup>8</sup>, H. Meikechi<sup>8</sup>, E. Guillem<sup>8</sup>, E. Algros<sup>9</sup>, T. Chesnot<sup>9</sup>, I. Le Fur<sup>10</sup> et A. M. Pourcher<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Ifremer (resp. scientifique Marquopoleau), Brest, <sup>2</sup> Cemagref (coordinateur Traces). <sup>3</sup> Université Européenne de Bretagne, Rennes, <sup>4</sup> INRA, Narbonne, <sup>5</sup> CNRS Géosciences, Rennes, <sup>6</sup> Université d'Angers, <sup>7</sup> INRA AgroCampus, Rennes, <sup>8</sup> IDHESA, Brest (coordinateur Marquopoleau), <sup>9</sup> IPL Maxéville et <sup>10</sup> IPL Ploemeur

Pour plus d'infos, sur les traceurs de sources microbiennes

Colloque Qualité sanitaire des eaux de baignade et conchylicoles

Présentations et résumés disponibles : [http://www.ifremer.fr/tsm\\_2010](http://www.ifremer.fr/tsm_2010)



Eaux, Chaîne trophique & Santé

## **Evaluation du risque hydrique pour l'homme :** Eléments de méthodologie

---

Olivier CATELINOIS, InVs (Cire)



# Évaluation du risque hydrique pour l'homme : éléments de méthodologie

Olivier Catelinois<sup>(1)</sup> et Catherine Galey<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Cellule de l'InVS en région Rhône-Alpes

<sup>(2)</sup> Institut de Veille Sanitaire

20 janvier 2011



## Trois outils pour une même finalité

### • Surveillance

- Surveillance environnementale (*réglementaire qualité des eaux et pilotage des exploitations plus précoce comme une alerte turbidité*)
- Surveillance sanitaire

### • Veille

Réception, validation et expertise des signaux provenant notamment des surveillances non spécifiques

### • Analyse des risques

- Évaluation quantitative des risques sanitaires
- Analyse de vulnérabilité des installations prises dans leur ensemble

**➔ Protéger la santé des consommateurs d'eau de distribution**



2



## Surveillance environnementale

### • Surveillance réglementaire

- Surveillance de la qualité des eaux (*milieux naturels, eaux destinées à la consommation humaine*)
- Dès le début du siècle dernier
- Une soixantaine de composés
- Fréquence fonction du nombre d'habitants

**➔ Peu adaptée à l'alerte sanitaire  
Impossibilité de tout surveiller : choix d'indicateurs**

### Surveillance « globale »

Respect de la réglementation sur les eaux de distribution

- Qualité microbiologique de l'eau (absence de parasite, de virus ou de bactérie pathogène)
- Qualité chimique, physique et gustative de l'eau (l'impidité, absence de mauvais goût ou d'odeur)

Fréquence des contrôles en fonction du débit de l'installation et des populations desservies avec adaptation possible par le préfet  
20 000 à 30 000 prélèvements par mois  
Enregistrement dans Sise Eaux

GRAIE - Grand Lyon - ASTEE

### Surveillance « focalisée »

Respect de la réglementation sur la qualité physico-chimique des eaux

Autour des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement et les Installations Nucléaires de Base

Plan de mesure établi dans le cadre d'arrêtés préfectoraux

<http://www.mesure-radioactivite.fr>

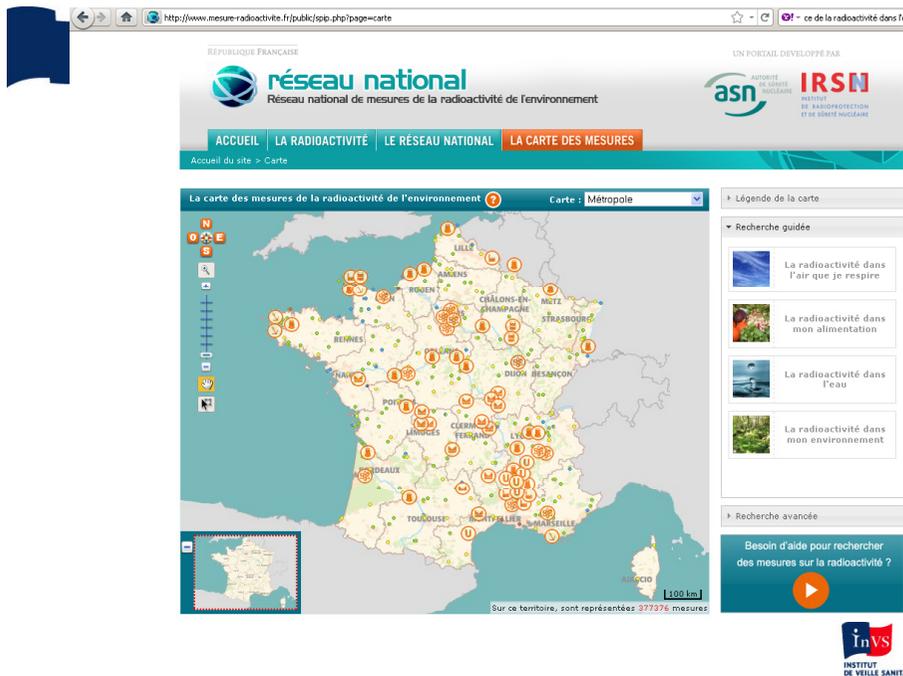


3e Conférence Eau et Santé - 20 janvier 2011




103

4



## Veille sanitaire

### • Objectifs

- Etre en capacité de collecter systématiquement et en continu des signaux sanitaires (*pathologies, expositions*)
- Valider les informations arrivées sous formes de signaux
- Analyser et expertiser les informations arrivées sous formes de signaux
- Recommander des options de gestion dans la perspective d'aide à la décision
- Diffuser le plus rapidement possible les informations validées

➔ **Tous les citoyens sont acteurs car potentiellement déclarants**  
**Pouvoir intervenir le plus rapidement possible (éviter la crise)**  
**Proportionner les options de gestion à la situation réelle**

### • Les acteurs chargés de l'organisation de la veille

- L'institut de veille sanitaire et notamment les Cellules de l'InVS en région (Cire)
- Les agences régionales de santé et notamment les délégations territoriales départementales

## Évaluations des risques d'origine hydrique

### • Objectifs

Quantifier l'impact sanitaire associé à la présence d'un agent potentiellement dangereux pour la santé

### Évaluation « rétrospective »

Estimation des risques sanitaires actuels et passés encourus par les populations qui ont été exposées ou potentiellement exposées

Confrontation des données issues de la surveillance épidémiologique et des modélisations issues de l'EQRS

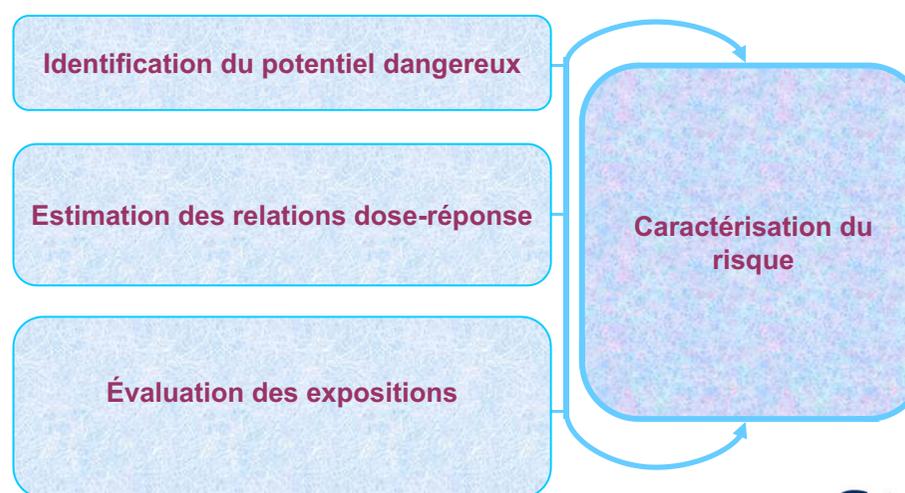
### Évaluation « prospective »

Projections dans le temps des risques sanitaires encourus par les populations exposées ou potentiellement exposées

Apporter des éléments quantitatifs à l'examen d'une demande d'exploitation d'une installation classée pour la protection de l'environnement ou une installation nucléaire de base

➔ **Outil d'aide à la décision**  
**Essentiellement adaptée aux agents chimiques et radiologiques**

## Évaluations des risques d'origine hydrique une démarche formalisée en 4 étapes

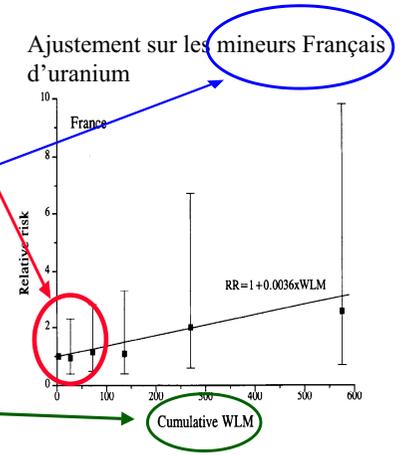


## Les limites des évaluations des risques

**Extrapolation**  
La relation de type linéaire ajustée aux fortes doses est valide aux faibles doses

**Transposition**  
La relation est valide pour la population générale

**Analogies**  
Le mélange du radon et des descendants dans les maisons a le même potentiel cancérigène que celui des mines...



**Besoin d'analyser les incertitudes et mener des analyses de sensibilité**



## Pour les risques microbiologiques

**Objectif**  
Promouvoir une démarche d'évaluation des risques microbiologiques et de sa gestion

**Acteurs**  
Les exploitants

**Grosses exploitations**

ISO22000 démarche HACCP (Analyse des risques et maîtrise des points critiques adaptée au réseau d'approvisionnement en eau)

**Petites exploitations**

Outil OGERIS développé par l'ASTEE (groupe de travail ASTEE « HACCP et petites unités d'exploitation »)

- Cibler les points de vulnérabilité au risque microbiologique
- Cibler le plan de surveillance pour la maîtrise du risque microbiologique
- Proposer des recommandations d'actions en termes de connaissance, surveillance, d'exploitation et de conception, adaptées au site et aidant l'utilisateur à définir un plan d'action



## Guide de l'InVS pour la détection et l'investigation d'infection liées à l'ingestion d'eau de distribution

**Objectifs**

- Lors d'épidémies
  - Eviter des cas en coupant l'exposition
  - Eviter les récurrences en prenant des mesures correctives
- Dans la durée  
Prévenir les épidémies par la surveillance, la veille et la gestion des facteurs de risque



**3 étapes**

- Détection
- Enquête exploratoire
- Enquête approfondie

<http://www.invs.sante.fr/>



## Guide de l'InVS pour la détection et l'investigation d'infection liées à l'ingestion d'eau de distribution

**Détection**

- Signaux sanitaires ou microbiologiques réglementaires trop tardifs
- Rechercher des signaux environnementaux, plus précoces, comme les plaintes groupées et évoquant une pollution organique



**Investigations exploratoires**

- Nécessaire de prioriser
- Associer le plus tôt possible l'exploitant et les autres acteurs impliqués (notamment les collectivités)
- Lier les investigations environnementales et épidémiologiques

<http://www.invs.sante.fr/>





## Utilité et indications de l'évaluation des risques

- **Sensibiliser à l'importance d'un problème**
  - Population concernée
  - Exploitants concernés
  - Professionnels de santé publique
  - Autorités nationales ou locales
- **Examiner la pertinence d'une action de prévention**  
Exemples : amiante, plomb, PCB...
- **Définir une stratégie d'action**  
Exemples : modifier les lieux de captages en fonction de l'hydrogéologie, sites pollués ...
- **Examiner la pertinence d'une étude**
  - Surveillance
  - Épidémiologique
  - Dépistage
  - Prise en charge médicale
- **Calcul d'un impact sanitaire**  
Exprimer le résultat sous "une forme permettant le débat contradictoire"



13

## **Prise en compte du risque sanitaire dans les plans d'actions à différentes échelles**

---

Pascal SIMONIN, DREAL Rhône-Alpes  
Nicolas CHANTEPY, Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse





## PRISE EN COMPTE DU RISQUE SANITAIRE DANS LES PLANS D'ACTION À DIFFÉRENTES ÉCHELLES

Pascal Simonin, DREAL/REMIPP/PPE  
Nicolas Chantepy, Agence de l'eau Rhône  
Méditerranée et Corse



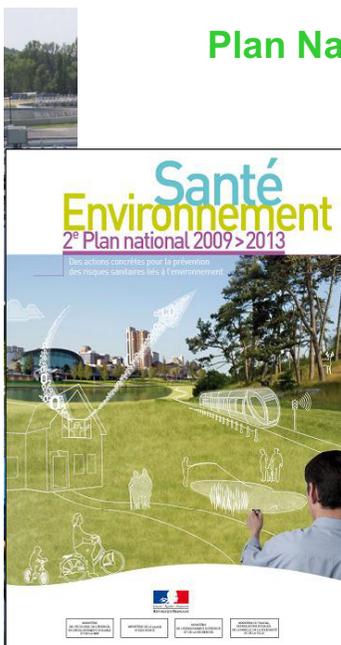
Lyon, jeudi 20 janvier 2011

## Sommaire

- Plan National Santé Environnement (PNSE2) 2009-2013
- Plan Micropolluants 2010-2013
- Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) des bassins Rhône Méditerranée et Loire Bretagne
- Plan Régional Santé environnement (PRSE 2) 2010-2014
- Plan d'action 2011-2020 pour le Léman

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Plan National Santé Environnement (PNSE2) 2009-2013



### Plan 2009 – 2013 (juin 2009)

dans la continuité du PNSE 1

dans le contexte du Grenelle  
(gouvernance, 21 engagements déclinés)

Élaboration du PRSE2 avec  
gouvernance à 5 collèges : État, élus,  
associations, salariés, employeurs +  
experts

16 fiches thématiques

déclinées en 58 actions, 200 sous-actions

12 mesures phares

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## PNSE 2 : axes forts

- **1. Réduire les expositions responsables de pathologies à fort impact sur la santé**  
cancers, maladies cardiovasculaires, pathologies respiratoires, neurologiques...
- **2. Réduire les inégalités environnementales**
  - Inégalités géographiques : exposition hétérogène aux nuisances environnementales
  - Inégalités sociales : comportement, contexte économique et social, professionnel
  - Inégale sensibilité à ces nuisances : personnes vulnérables : âge, état de santé...

Eaux, Chaîne trophique & Santé



## PNSE 2 : parmi les 12 mesures phare

- Réduire de 30%
  - les émissions dans l'air et dans l'eau de 6 substances toxiques d'ici 2013
  - les concentrations dans l'air ambiant en particules fines PM 2,5 d'ici 2015 (Plan particules)
- Assurer la protection des aires d'alimentation des 500 captages d'eau les plus menacés
- Identifier et gérer les "points noirs environnementaux": zones susceptibles d'entraîner une surexposition à des substances toxiques
- Favoriser les mobilités douces pour diminuer à la fois l'impact environnemental des transports et développer l'activité physique (élément essentiel en matière de santé)

Eaux, Chaîne trophique & Santé



## PNSE2 : articulation avec les autres plans

- Le PNSE2
  - vise à établir des priorités en donnant une vision globale et une cohérence à l'ensemble
  - n'intègre pas l'ensemble des mesures prises dans le domaine santé environnement et ne se substitue pas aux plans existants
  - Lorsque des plans spécifiques existent, le PNSE2 s'y réfère mais ne re-détaille pas chacune des actions spécifiques de ces plans

Eaux, Chaîne trophique & Santé



## Plan Micropolluants 2010-2013

**PLAN MICROPOLLUANTS  
2010-2013**  
Un plan d'action national pour lutter contre  
la pollution des milieux aquatiques

### Plan d'action national pour lutter contre la pollution des milieux aquatiques

octobre 2010

- définit la stratégie globale de réduction de la présence de micropolluants dans les milieux aquatiques
- répond aux objectifs de la directive cadre sur l'eau
- respecte les engagements du Grenelle
- vise à anticiper la mise en œuvre d'actions sur des micropolluants non réglementés à ce jour

Eaux, Chaîne trophique & Santé



## Plan Micropolluants : stratégie

- Prioriser l'action en agissant sur les micropolluants les plus préoccupants
- Adopter une approche globale et transversale sur la problématique en agissant sur le cycle de vie des micropolluants
- Combiner de façon cohérente les différents outils réglementaires, économiques, incitatifs, scientifiques et techniques
- Assurer une cohérence entre les approches européennes, nationales et locales
- Orienter et mutualiser les travaux de recherche
- Consulter les parties prenantes
- Renforcer la communication et mobiliser les différents acteurs

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Plan Micropolluants : 4 axes

1. Réduire les émissions à la source
2. Améliorer et renforcer la connaissance de l'état des masses d'eau et mettre à disposition de tous ces données
3. Améliorer les connaissances scientifiques et techniques pour identifier les marges de progrès et hiérarchiser l'action des pouvoirs publics
4. Suivre les progrès accomplis et communiquer

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Plan Micropolluants : parmi les 22 actions

- Agir sur les substances les plus préoccupantes
  - fixer de nouveaux objectifs de réduction des émissions ou des rejets
  - soutenir le retrait du marché ou la substitution des substances les plus dangereuses au plan européen et national
- Agir sur les secteurs d'activité les plus contributeurs
  - réduire le recours aux produits phytopharmaceutiques (usages agricoles et non agricoles) et biocides
  - renforcer la surveillance des rejets ponctuels industriels, urbains, des installations nucléaires, des déversements accidentels, des sites et sols pollués, des déversoirs d'orage, des effluents hospitaliers et des boues d'épuration
  - définir des prescriptions techniques : adaptation des VLE pour les ICPE ou les IOTA
  - réduire les déversements de substances dans les réseaux de collecte des eaux usées
  - récupérer et éliminer les déchets dangereux diffus

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Plan Micropolluants : parmi les 22 actions

- Améliorer la connaissance de l'état des milieux
  - agir sur les milieux les plus dégradés : hiérarchiser les actions de réduction sur les masses d'eau déclassées
  - améliorer la comparabilité des données de surveillance des milieux et des rejets
  - réaliser l'inventaire des émissions et des rejets ponctuels et diffus pour les substances DCE
  - remettre à jour et anticiper les listes de substances à surveiller
- Améliorer les connaissances scientifiques et techniques
  - valoriser et poursuivre les études permettant de mieux connaître les sources de pollution et leur devenir dans l'environnement
  - mieux comprendre les processus de bioaccumulation des polluants et leurs transferts au sein des réseaux trophiques aquatiques

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## SDAGE bassin Rhône Méditerranée



- document de planification décentralisée élaboré sur le territoire du bassin hydrographique du Rhône
- de portée juridique
- définit pour 6 ans (2010-2015) les grandes orientations pour une gestion équilibrée de la ressource en eau ainsi que les objectifs de qualité et de quantité des eaux à maintenir ou à atteindre
- formule des préconisations
- oblige les décisions administratives à être (ou à être rendues) compatibles avec les dispositions

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## SDAGE RM : orientation fondamentale 5E

**Lutter contre les pollutions en mettant la priorité sur les pollutions par les substances dangereuses et la protection de la santé**

**Évaluer, prévenir et maîtriser les risques pour la santé humaine**

- Objectifs visés
  - Garantir l'objectif de non dégradation pour les eaux utilisées pour l'alimentation en eau potable, les ressources destinées à un futur usage « eau potable », les eaux de baignade, de loisirs aquatiques, les eaux pour la pêche et l'aquaculture
  - Obtenir une qualité des eaux brutes conformes aux exigences de la DCE, une liste des ressources majeures à préserver pour l'AEP, une reconquête du bon état des masses d'eau qui doivent être préservées pour la consommation humaine

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## SDAGE RM : dispositions OF 5E

- Engager des actions pour protéger la qualité de la ressource destinée à la consommation humaine
  - Identifier et caractériser les ressources majeures à préserver
  - Engager des actions de restauration et de protection dans les aires d'alimentation des captages d'eau potable
  - Mobiliser les outils réglementaires pour protéger les ressources majeures à préserver
  - Achever la mise en place des périmètres de protection des captages
  - Mobiliser les outils fonciers agri-environnementaux et de planification
  - Réorienter les actions pour privilégier la prévention
- Progresser dans la lutte contre les nouvelles pollutions chimiques
  - Engager des actions vis à vis des pollutions émergentes : perturbateurs endocriniens, substances médicamenteuses

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## SDAGE bassin Loire Bretagne

Orientation fondamentale 6

**Protéger la santé en protégeant l'environnement**

1. Améliorer l'information sur les ressources et équipements utilisés pour l'alimentation en eau potable  
=> état des lieux de l'AEP dans chaque département
2. Finaliser la mise en place des arrêtés de périmètres de protection sur les captages
3. Lutter contre les pollutions diffuses, nitrates et pesticides dans les aires d'alimentation de captage

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## SDAGE bassin Loire Bretagne : OF 6

4. Mettre en place des schémas d'alerte pour les captages en eau superficielle
5. Réserver certaines ressources à l'eau potable
6. Maintenir et/ou améliorer la qualité des eaux de baignade en eaux continentales et littorales
7. Mieux connaître les rejets et le comportement dans l'environnement des substances médicamenteuses

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## SDAGE : le programme de mesures

- associé au SDAGE
  - conforme aux objectifs et dispositions du SDAGE
- identifie des « actions clefs », mesures incontournables pour la réalisation de ces objectifs
- comprend des « mesures de base » qui sont les exigences minimales à respecter, et qui résultent de l'application des textes déjà en vigueur et des « mesures complémentaires » qu'il est nécessaire d'ajouter aux précédentes, lorsqu'elles ne suffisent pas pour atteindre les objectifs environnementaux prescrits par la DCE.
  - mise en œuvre des mesures sous la forme de dispositions réglementaires, d'incitations financières ou d'accords négociés.

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## Plan régional Santé Environnement

### PRSE 1 (2006-2010)

- déclinaison régionale du plan national PNSE1 (2004-2008)
- émergence thématique santé environnement
- PRSE1 = volet du PRSP (Plan Régional Santé Publique)
  - => support de la politique de santé dans la région
- a mobilisé les services de l'État autour des 3 objectifs majeurs du PNSE1:
  - garantir un air et une eau de bonne qualité,
  - prévenir les pathologies d'origine environnementale et notamment les cancers,
  - mieux informer le public et protéger les populations sensibles
- Pour atteindre ces objectifs majeurs, 26 thèmes ont été hiérarchisés (dont 25 déclinés du PNSE 1, plus l'ambroisie)

Eaux, Chaîne trophique & Santé

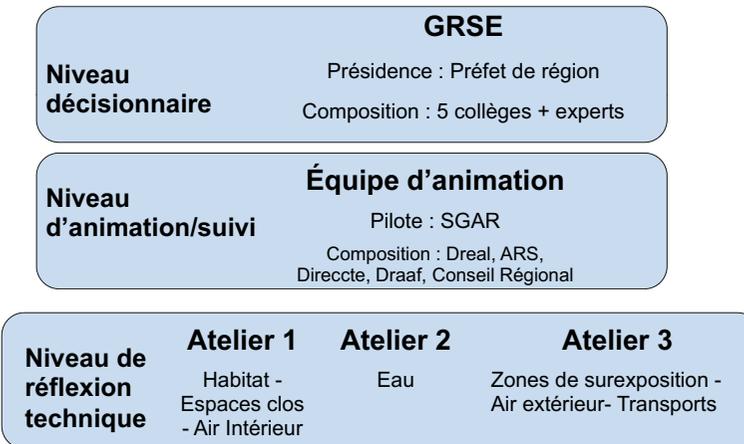
## PRSE 1 : évaluation

- Bilan final à réaliser en 2011
- Des avancées significatives
  - amélioration de la protection des captages d'eau potable (près de 80% du débit produit protégé)
  - amélioration de la prévention des risques dus à la musique amplifiée (plus de 120 concerts pédagogiques, plus de 17 000 adolescents sensibilisés)
  - amélioration de la lutte contre l'ambroisie (action spécifique)
  - réduction des émissions des oxydes d'azote NOx des installations industrielles : - 37 % entre 2004 et 2009
  - réduction des émissions atmosphériques industrielles pour 6 polluants majeurs (entre 2001 et 2008) :
    - - 70 % Pb, Hg, benzène, CVM
    - - 90 % dioxines, Cd

Eaux, Chaîne trophique & Santé

## PRSE 2 : élaboration fin 2010

### Gouvernance pour un plan opérationnel définissant des priorités régionales sur 2011-2014



Eaux, Chaîne trophique & Santé



## PRSE2 : planning

- Janv-fév 2011 : synthèse du travail des ateliers et rédaction du PRSE2-V0 ;
- Fév-mars 2011 : avis du GRSE sur PRSE2-V0 et rédaction du PRSE2-V1; Consultation du public ;
- Avril 2011 : prise en compte des remarques (PRSE2-V2) et avis du GRSE sur PRSE2-V2 ;
- Mai 2011 : approbation du PRSE2

Eaux, Chaîne trophique & Santé



## PRSE 2 : fiches actions sur l'eau (projet)

1. Réduire les émissions de substances toxiques dans les milieux aquatiques
2. Protéger la ressource destinée à l'alimentation en eau potable
3. Maîtriser la qualité de l'eau distribuée au robinet du consommateur
4. Réhabiliter ou gérer les zones contaminées : échelle urbaine, sédiments, ...
5. Améliorer les pratiques de gestion des eaux vis à vis des impacts sur la santé

Eaux, Chaîne trophique & Santé



## Le plan d'action Léman 2011-2020 de la CIPEL

- Quatre orientations stratégiques :
  - Maintenir ou restaurer le bon état de l'ensemble des milieux aquatiques ;
  - Garantir et pérenniser l'usage des eaux du lac pour l'AEP moyennant un traitement simple ;
  - Valoriser le lac, les rivières et les autres milieux aquatiques ;
  - Connaître et anticiper les effets du changement climatique sur le lac

Eaux, Chaîne trophique & Santé



## Le plan d'action Léman 2011-2020 de la CIPEL

- **17 objectifs ont été définis pour répondre à ces 4 orientations stratégiques, avec en particulier :**
  - Pour l'atteinte du bon état : réduire les micropolluants dans les eaux, sédiments et poissons, au regard des risques pour l'homme et l'environnement (1er objectif, avant l'objectif historique de réduction du phosphore dans les eaux du lac) ;
  - Pour l'AEP : assurer une veille notamment par rapport aux micropolluants dans les eaux brutes ;
  - Pour la valorisation du lac : s'assurer que les concentrations en micropolluants retrouvés dans les poissons ne dépassent pas les normes en vigueur et assurer une veille sur les substances non normées

Eaux, Chaîne trophique & Santé



## Le plan d'action Léman 2011-2020 de la CIPEL

- Une déclinaison opérationnelle du plan d'action en fiches « action », avec à titre d'exemples :
  - Promouvoir le traitement des micropolluants dans les STEP prioritaires (A3) ;
  - Lutter à la source contre les apports de micropolluants (A5) ;
  - Maîtriser les rejets industriels par rapport aux micropolluants (B2) ;
  - Limiter l'utilisation des produits phytosanitaires et leur transfert vers l'environnement (C1).

Eaux, Chaîne trophique & Santé



## Le plan d'action Léman 2011-2020 de la CIPEL

- En résumé :

Un plan d'action opérationnel sur 10 ans, réorienté sur de nouveaux enjeux par rapport au plan précédent, et dans lequel les problématiques de micropolluants et d'enjeux sanitaires sont bien présents

Eaux, Chaîne trophique & Santé



- Merci de votre attention

Eaux, Chaîne trophique & Santé



---

# Références et sites internet

---

## Sites internet sur la santé et l'environnement

Organismes nationaux :

- **ANSES**  
Agence Nationale de Sécurité sanitaire  
<http://www.anses.fr>
  - **IFEN**  
Institut français de l'environnement  
<http://www.ifen.fr/acces-thematique/eau>
  - **IFREMER**  
Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer  
<http://www.ifremer.fr> – [http://wwwz.ifremer.fr/TSM\\_2010](http://wwwz.ifremer.fr/TSM_2010)
  - **INCa**  
Institut National du Cancer  
<http://www.e-cancer.fr>
  - **INERIS**  
Institut national de l'environnement industriel et des risques  
<http://www.ineris.fr>
  - **INRA**  
Institut scientifique de recherche agronomique :  
<http://www.inra.fr>
  - **INVS**  
Institut de veille sanitaire :  
<http://www.invs.sante.fr>
- Autres sites :
- **AFINEGE**  
Association Francilienne des Industries pour l'Etude et la Gestion de l'Environnement  
<http://www.afinege.org>
  - **CORPEN**  
Le Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'ENvironnement  
[www.developpement-durable.gouv.fr/-Le-Comite-d-ORientation-pour-des,3125-.html](http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Le-Comite-d-ORientation-pour-des,3125-.html)

- **EAWAG**  
The Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology  
[www.eawag.ch](http://www.eawag.ch)
- **ECHA**  
European Chemicals Agency  
<http://echa.europa.eu>
- **EPER**  
Registre Européen des Emissions de Polluants  
<http://eper.eea.europa.eu>
- **FNORS**  
Fédération nationale des observatoires régionaux de santé  
[www.fnors.org](http://www.fnors.org)
- **Grenelle de l'environnement**, thème Environnement et Santé  
<http://www.legrenelle-environnement.fr>
- **ORS Rhône-Alpes**  
Observatoire Régional de la Santé  
[www.ors-rhone-alpes.org](http://www.ors-rhone-alpes.org)
- **OSPAR**  
Convention internationale "Oslo-Paris"  
<http://www.ospar.org>
- **Plan National Santé-Environnement (PNSE)**  
<http://www.sante.gouv.fr>
- **Portail Santé – Environnement**  
Site réalisé par l'ANSES  
<http://www.sante-environnement-travail.fr>
- **Portail substances chimiques**  
Site réalisé par l'INERIS  
<http://chimie.ineris.fr>
- **Réglementation des Activités Industrielles à Risque**  
Site réalisé par l'INERIS  
<http://aida.ineris.fr>
- **RSDE**  
Action Nationale de Recherche et de Réductions des Rejets de Substances Dangereuses dans les Eaux  
<http://rsde.ineris.fr>

## Sites internet des projets de recherche

- **AMPERES**  
Analyse de micropolluants prioritaires et émergents dans les rejets et les eaux résiduaires  
<http://www.cemagref.fr>
- **ESPRIT**  
Evaluation des substances prioritaires dans les rejets urbains de temps de pluie  
[www.esprit-rhodanos.fr](http://www.esprit-rhodanos.fr)
- **HURRBIS**  
Hydrologie urbaine - réseau de recherche bassins inter-sites  
<http://www.hurrbis.org>
- **NOVAQUATIS**  
<http://www.novaquatis.eawag.ch>
- **OTHU**  
Observatoire de terrain en hydrologie urbaine  
<http://www.othu.org>
- **PILLS**  
Programme Interreg  
Pharmaceutical inputs and elimination from Local Sources  
[www.pills-project.eu](http://www.pills-project.eu)
- **ScorePP**  
Source Control Options for Reducing Emissions of Priority Pollutants  
<http://www.scorepp.eu>

## Dossiers de la revue TSM

- « Eau et micropolluants : Sources – Impacts – Maîtrise » n°4, 2009, 86p.
- « Impact sanitaire, environnemental et social de l'assainissement » n°3, 2007, 59 p.
- « Eau potable et risques chimiques » et « Matériaux et traitement de l'eau » n°12, 2006, 83 p.
- « Caractéristiques et origines des flux polluants dans le réseau d'assainissement unitaire » n°11, 2006, 120 p.

## Actes de conférence du GRAIE

- Dans le cycle des conférences « Eau et Santé » :  
2 – Assainissement et micropolluants : Sources – Impacts – Maîtrise - octobre 2008 – 205 p.  
1- Eaux pluviales et assainissement : nouvelles préoccupations sanitaires - octobre 2006 - 142 p.  
Synthèse et actes des journées téléchargeables sur [www.graie.org](http://www.graie.org)

## Sites internet des partenaires et organisateurs de la conférence

- <http://www.eaurmc.fr>
- <http://www.cluster-environnement.net>
- <http://www.rhone-alpes.ecologie.gouv.fr>
- <http://www.rhonealpes.fr>
- <http://www.hydroplus.info>
- <http://www.technicites.fr>
  
- **ASTEES**  
Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'environnement  
83 avenue Foch - B.P. 3916 - 75 761 Paris Cedex 16  
Tél. 01 53 70 13 53 • Fax : 01 53 70 13 40 • [astee@astee.org](mailto:astee@astee.org)  
<http://www.astee.org>
  
- **Graie**  
Groupe de Recherche Rhône-Alpes sur les Infrastructures et l'Eau  
Domaine scientifique de la Doua - 66, bd Niels Bohr - BP 52132  
69603 Villeurbanne cedex  
Tel : 04 72 43 83 68 • Fax : 04 72 43 92 77 • [asso@graie.org](mailto:asso@graie.org)  
<http://www.graie.org>
  
- **Grand Lyon**  
Direction de l'eau - 20 rue du lac - 69003 Lyon  
Tel : 04 78 95 89 00 • Fax : 04 78 95 89 74  
<http://www.grandlyon.com>  
<http://www.millenaire3.com>





Le Groupe de Recherche Rhône-Alpes sur les Infrastructures et l'Eau est une association loi 1901 qui se propose de mettre en relation les acteurs de la gestion de l'eau, de développer et valoriser la recherche et de diffuser l'information dans ce domaine. Dans le cadre de ses activités, le Graie traite régulièrement de questions relatives à l'assainissement urbain et à la gestion des eaux pluviales.

[www.graie.org](http://www.graie.org)



Créée en 1905, l'ASTEE est une association reconnue d'utilité publique. Elle rassemble des experts, chercheurs, scientifiques et praticiens ainsi que des représentants d'organismes publics et privés et de ministères qui interviennent dans les différents secteurs de l'environnement. Elle encourage régulièrement par ses actions et ses informations au respect de l'environnement et se prononce en faveur du développement durable pour garantir aux populations les conditions d'accès à une véritable qualité de vie.

[www.astee.org](http://www.astee.org)



La Communauté urbaine de Lyon rassemble 1 300 000 habitants, sur 55 communes et plus de 50 000 hectares. Son objectif est de gérer les services publics de façon solidaire et rationnelle. Elle intervient sur la voirie, l'eau et l'assainissement, la propreté, le développement urbain, ... La direction de l'eau du Grand Lyon est composée d'environ 570 personnes, pour la maîtrise du cycle de l'eau depuis le captage, le traitement, et la distribution de l'eau potable, en passant par l'assainissement des eaux usées, la gestion et le traitement des eaux pluviales et le contrôle des rejets en milieu naturel

[www.grandlyon.org](http://www.grandlyon.org)

Avec le soutien de :

