

# Des micropolluants dans votre verre ? Mieux vaut prévenir que guérir...

Cycle de  
Conférences  
sur l'eau

Musée de la  
civilisation

28 03 2011

Peter Vanrolleghem et Ludiwine Clouzot



Chaire de Recherche du Canada  
en Modélisation de la Qualité de l'Eau



## Mon premier contact avec le Canada

- 1976 : Les jeux olympiques de Montréal



2



## Mon premier contact avec le Canada

- 1976 : Les jeux olympiques de Montréal

Ivo Van Damme



3

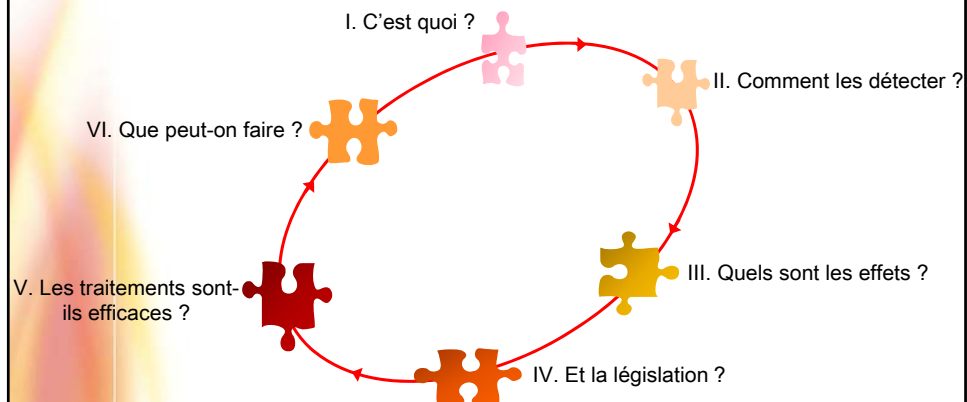


## Le stade olympique et la pollution

- Morceau de sucre : Sébastien Sauvé (UdM)



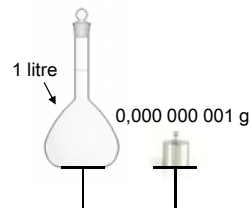
## Les micropolluants...



## Les micropolluants : C'est quoi ?



- Si c'est très dilué, quels sont les effets ?

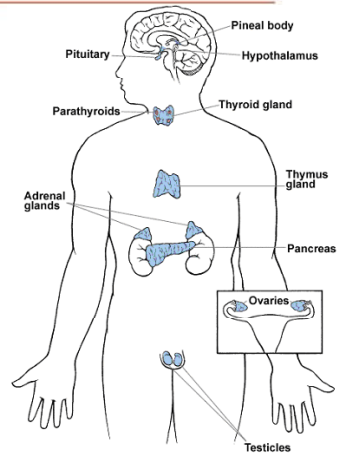


Dans 1 litre, il y a en fait  
6 020 000 000 000 de molécules !



## Les micropolluants : C'est quoi ?

### ■ Perturbateurs endocriniens

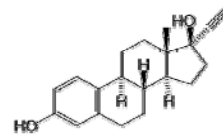


## Les micropolluants : C'est quoi ?

### ■ Perturbateurs endocriniens

#### ■ Hormones

- Naturelles : estrone, progestérone, etc.
- Synthétiques : pilules contraceptives, traitements hormonaux, etc.



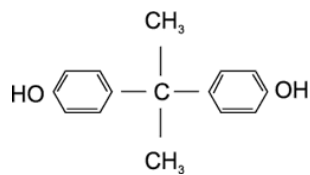
EE2 : 17 $\alpha$ -éthynylestradiol

## Les micropolluants : C'est quoi ?

- Perturbateurs endocriniens

- Bisphénol-A (BPA)

- Polycarbonates (Bouteilles, CDs)
    - Résines d'époxy (Boîtes de conserve)



- Banni depuis 2008 au Canada (premier pays au monde)

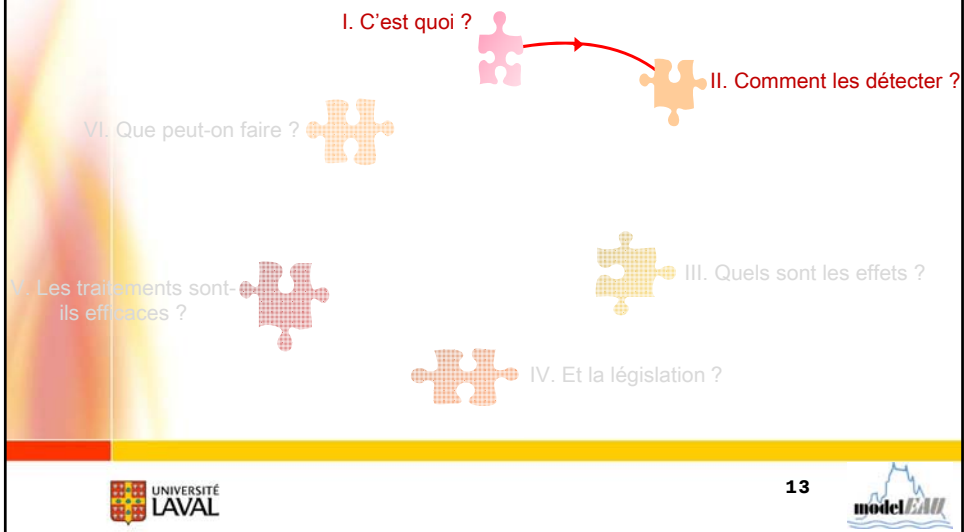
## Les micropolluants : C'est quoi ?

- Pesticides

- Insecticides
  - Fongicides
  - Herbicides



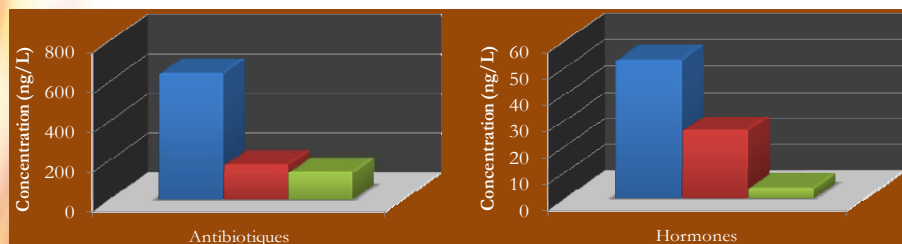
# Les micropolluants...



## Les micropolluants : Détection

Données de revues de la littérature (199 articles)<sup>1,2</sup> (Sébastien Sauvé)

■ Effluent dans le monde ■ Eaux de surface dans le monde ■ Résultats dans l'eau de surface de Montréal



1. Segura P., *Environ. Health Perspect.*, 2009 (117), 675;  
2. Monteiro S.C., *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, 2010 (202), 53.



## Les micropolluants : Détection

- Des défis analytiques :
  - Des concentrations très faibles
  - Des matrices complexes : eaux usées, eau de surface
  - Des techniques chères



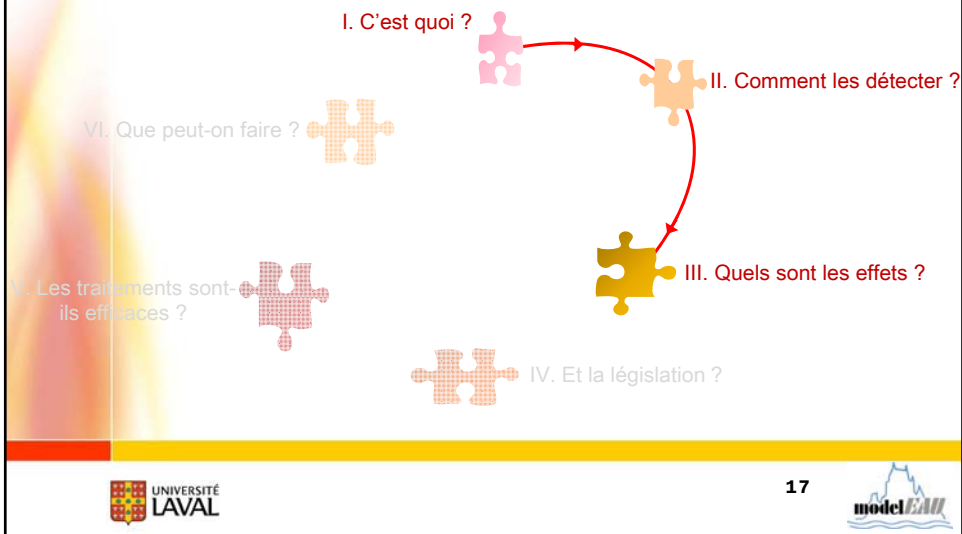
## Les micropolluants : Détection

- Des progrès de tous les jours :
  - Des limites de détection de plus en plus faibles
  - Des méthodes de plus en plus précises et demandant moins de temps
  - « Polluants émergents » car on a les méthodes pour les détecter



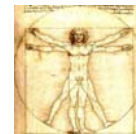


## Les micropolluants...



## Les micropolluants : Effets

- Sur l'humain :
  - Métaux lourds : organes vitaux, système nerveux
  - Dérivés de pétrole (PCB, HAP, dioxine) : cancer
  - Antibiotiques : multi-résistance
- Prudence : ce n'est pas parce qu'on mesure des micropolluants que c'est forcément inquiétant ! (*Sébastien Sauvé*)



2L/jour pendant 70 ans =



1 pilule

- Mais, il faut considérer : Effets chroniques
  - Effet additif des composés ( $1+1 = ?$ )
  - Résistance aux antibiotiques

## Les micropolluants : Effets

- Sur l'humain :
  - Métaux lourds : organes vitaux, système nerveux
  - Dérivés de pétrole (PCB, HAP, dioxine) : cancer
  - Antibiotiques : multi-résistance



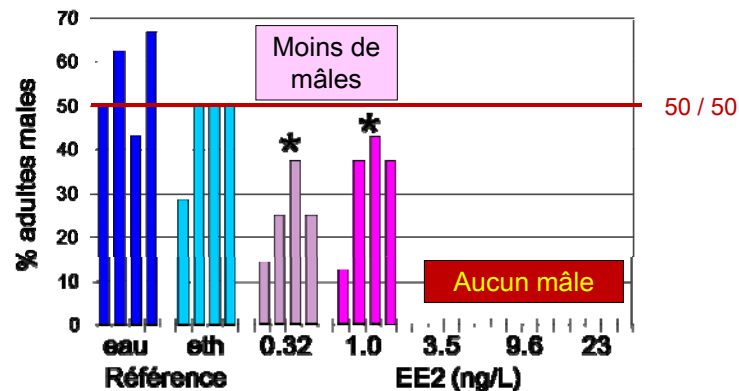
- Sur la faune :
  - Mutations
  - Malformations
  - Féminisation
  - ...



Apparition d'ovules  
dans les testicules

## Les micropolluants : Effets

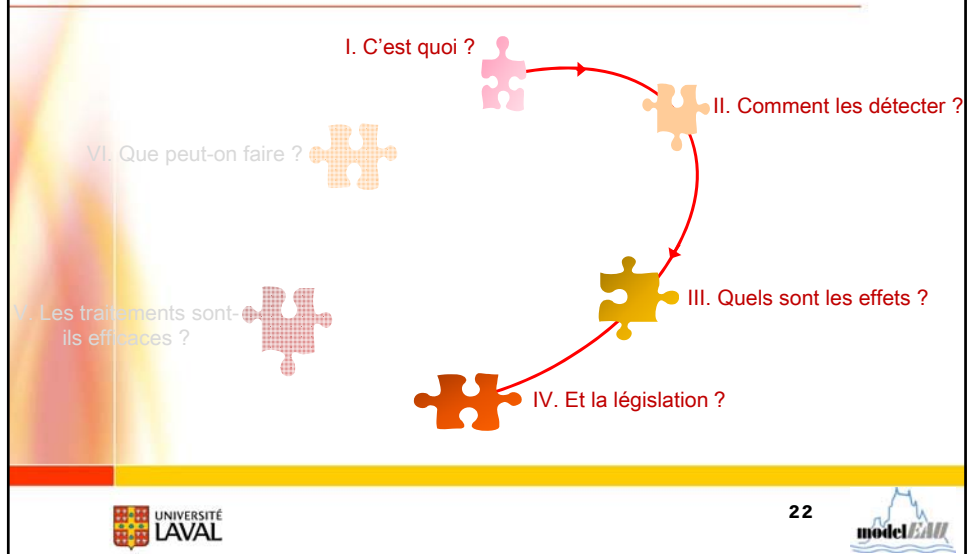
- Féminisation (*Joanne Parrot, Environnement Canada*) :



## Les micropolluants : Bioamplification



## Les micropolluants...



## Les micropolluants : Législation

- Règlement sur la qualité de l'eau potable (RQEP)
  - Élaboration de normes pour des contaminants pouvant présenter un risque pour la santé
- Programme de surveillance de la qualité de l'eau
- Élaboration de permis pour activités industrielles
- Municipalités ont la possibilité de contrôler ce qui entre dans les réseaux d'égouts

Développement durable,  
Environnement  
et Parcs

Québec



## Les micropolluants : Législation

- Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME)
- Stratégie pancanadienne sur la gestion des effluents d'eaux usées municipales (2009)
  - Objectifs environnementaux de rejet : incl. micropolluants
    - Évaluation du risque environnemental (incl. le milieu récepteur)
    - À développer pour 2016
  - Toxicité chronique des effluents

CCME

Canadian Council of Ministers  
of the Environment    Le Conseil canadien  
des ministres de l'environnement

## Les micropolluants : Législation

- Santé Canada
  - Loi et Règlement sur les aliments et drogues du Canada : Produits pharmaceutiques
  - Loi sur les produits dangereux : Produits destinés aux consommateurs
  - Loi sur les produits antiparasitaires : Pesticides
- Environnement Canada
  - Loi canadienne sur la protection de l'environnement (LCPE) : Autres substances

Canada



## Les micropolluants : Législation

- LCPE (1999)
  - Loi canadienne sur la protection de l'environnement
  - Catégorisation de 23 000 substances existantes
    - Persistance (P)
    - Bioaccumulation (Bi)
    - Toxicité intrinsèque pour l'environnement (T)
  - 393 substances classées « Haute priorité » car ils sont positifs sur les 3 critères P/BiT

Canada

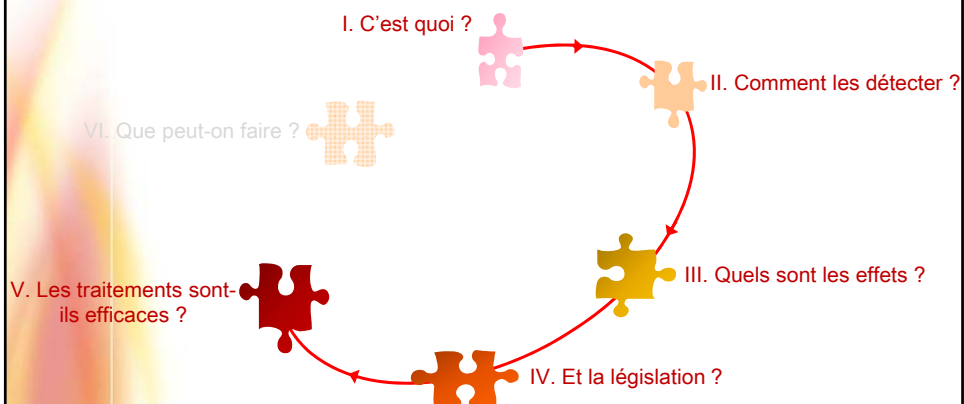
<http://www.chemicalsubstanceschimiques.gc.ca>

## Les micropolluants : Législation

- Directive Cadre de l'Eau (2000)
  - Améliorer l'état des eaux de surface et souterraines
- Polluants prioritaires
  - 33 substances considérées comme dangereuses ou nocives
  - Décision de réduire leurs émissions ou de les bannir (P/BiT - 2015)
  - Définition de Standards de Qualité Environnementale (EQS)
    - Concentration moyenne annuelle
    - Concentration maximale permise



## Les micropolluants...

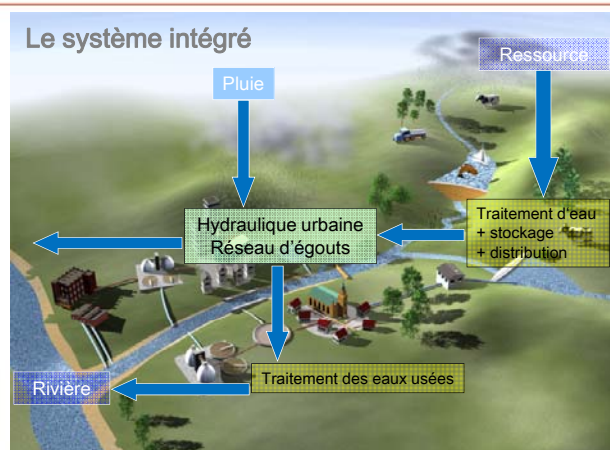


## Les micropolluants : Traitement

**NON** « La dilution est la solution à la pollution »



## Les micropolluants: Traitement





## Les micropolluants : Traitement

- Les procédés d'élimination
  - Volatilisation
  - Adsorption
  - Photolyse
  - Dégradation chimique (oxydation)
  - Biodégradation
- Élimination d'une substance peut engendrer une production de sous-produits...

## Les micropolluants : Traitement

- Dégradation et biodégradation naturelles (*Nicolas Roche*)

| Produits                       | Photolyse naturelle             | Biodégradation naturelle        |
|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Ibuprofen                      | Très Faible : $t_{1/2} = 200$ j | Faible : $t_{1/2} = 20$ j       |
| Diclofénac                     | Photo transformation rapide     | Rapide                          |
| Carbamazépine                  | Très Faible : $t_{1/2} = 60$ j  | Très Faible : $t_{1/2} = 180$ j |
| Naproxen                       | Rapide : $t_{1/2} = 42$ min     | -                               |
| 17 $\alpha$ - Ethinylestradiol | Faible : $t_{1/2} = 36$ h       | Persistant                      |

Quels sous-produits ?

## Les micropolluants : Traitement

- Dégradation et biodégradation par procédés (Nicolas Roche)

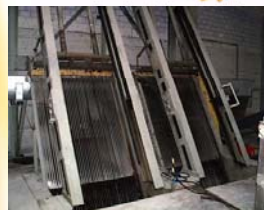
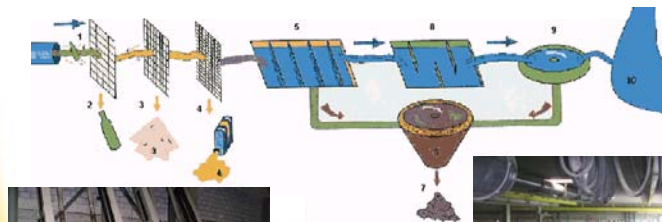
| Produits               | STEP      | UV - Photolyse | Traitement chimique                            |
|------------------------|-----------|----------------|------------------------------------------------|
| Ibuprofen              | 90 – 95 % | < 30%          | 70 – 95 % (O <sub>3</sub> et Cl <sub>2</sub> ) |
| Diclofénac             | 17 – 70 % | 30 – 70 %      | rapide                                         |
| Carbamazépine          | 0 – 10 %  | < 30%          | 30 – 70 %                                      |
| Naproxen               | 70 – 80 % | < 30%          | 70 – 100 %                                     |
| 17α - Ethinylestradiol | 50 – 90 % | < 30%          | 70 %                                           |

Adsorption ou dégradation ?

Quels sous-produits ?

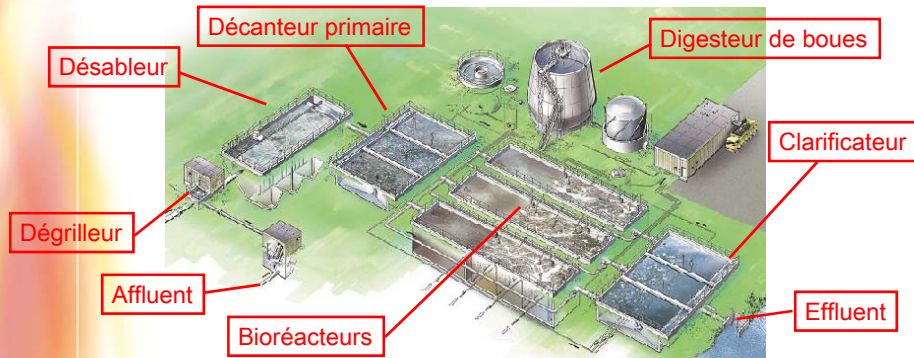
## Les micropolluants : Traitement

- Traitement primaire (adsorption, sédimentation)



## Les micropolluants : Traitement

- Traitement secondaire par boues biologiques  
(adsorption, sédimentation, volatilisation, biodégradation)



## Les micropolluants : Traitement

- Boues biologiques



## Les micropolluants : Traitement

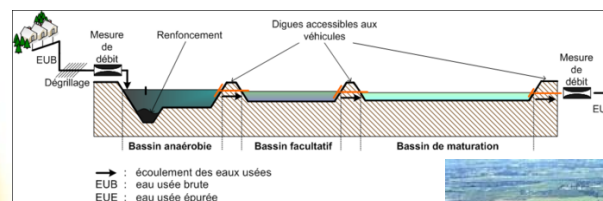
- Performance de traitement : primaire  $\leftrightarrow$  secondaire

| Family                        | Substance                        | Mean removal yields (%) |            |
|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------|
|                               |                                  | Physico-chemical        | Biological |
| Metals                        | Cadmium                          | 41%                     | 44%        |
| Metals                        | Lead                             | 42%                     | 63%        |
| Metals                        | Nickel                           | 23%                     | 41%        |
| Metals                        | Copper                           | 48%                     | 68%        |
| PAH                           | Naphthalene                      | 27%                     | 62%        |
| PAH                           | Benzo(a)pyrene                   | 75%                     | 79%        |
| PAH                           | Indeno(1,2,3-cd)pyrene           | 80%                     | 83%        |
| Alkylphenols                  | Nonylphenols                     | 16%                     | 74%        |
| Chlorophenols                 | Pentachlorophenol                | -134%                   | -56%       |
| VCOC                          | Benzene                          | 99%                     | 85%        |
| VCOC                          | Trichloromethane                 | 80%                     | 69%        |
| VCOC                          | Tetrachloroethylene              | 54%                     | 76%        |
| Phthalates                    | Di(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) | 35%                     | 49%        |
| Chlorinated organics          | Hexachlorobenzene                | 18%                     | 79%        |
| Organochlorinated pesticides  | DDT                              | 63%                     | 96%        |
| Organometallic pesticides     | Tributyltin                      | 24%                     | 97%        |
| Organophosphorated pesticides | Chlorfenvinphos                  | ?                       | 88%        |
| Organophosphorated pesticides | Chlorpyrifos                     | 42%                     | 44%        |
| Urea pesticides               | Diuron                           | ?                       | 31%        |
| Other pesticides              | Triclosan                        | 50%                     | 96%        |
| Other chemicals               | LAS                              | 7%                      | 91%        |

Ruel et al. (2008) WST, 57, 1935-1944

## Les micropolluants : Traitement

- Étangs aérés  
(adsorption, sédimentation, photolyse, volatilisation, biodégradation)



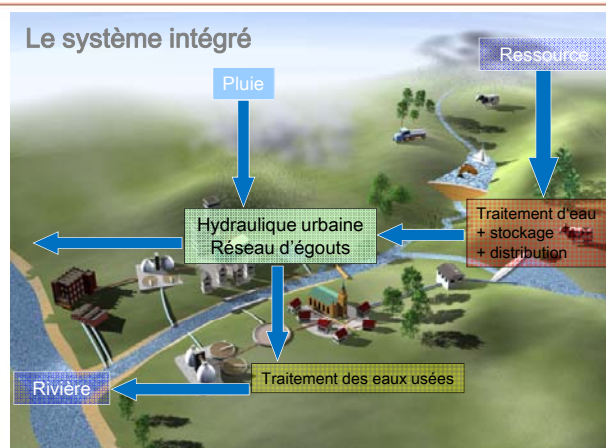
## Les micropolluants : Traitement

- Dégradation et biodégradation par procédés (Nicolas Roche)

| Produits               | STEP      | Étangs    | Traitement chimique                            |
|------------------------|-----------|-----------|------------------------------------------------|
| Ibuprofen              | 90 – 95 % | 98 – 100% | 70 – 95 % (O <sub>3</sub> et Cl <sub>2</sub> ) |
| Diclofénac             | 17 – 70 % | –         | rapide                                         |
| Carbamazépine          | 0 – 10 %  | 5 – 50%   | 30 – 70 %                                      |
| Naproxen               | 70 – 80 % | 100%      | 70 – 100 %                                     |
| 17α - Ethinylestradiol | 50 – 90 % | 80 – 98%  | 70 %                                           |

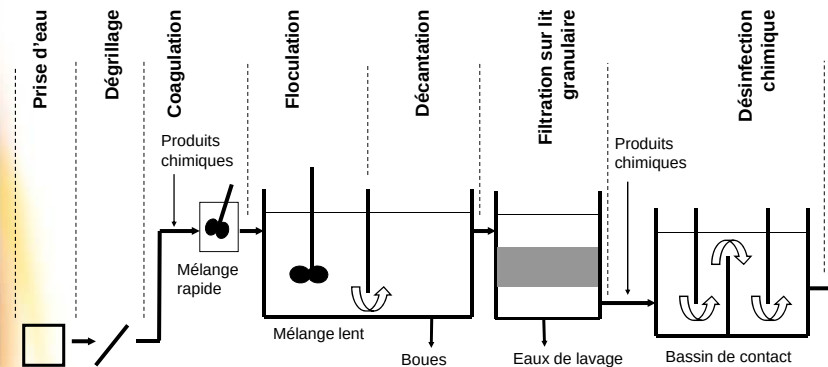
- Résultats confirmés par l'étude de Smyth (Environnement Canada)

## Les micropolluants: Traitement



## Les micropolluants : Traitement

- Chaîne conventionnelle de production d'eau potable



## Les micropolluants : Traitement

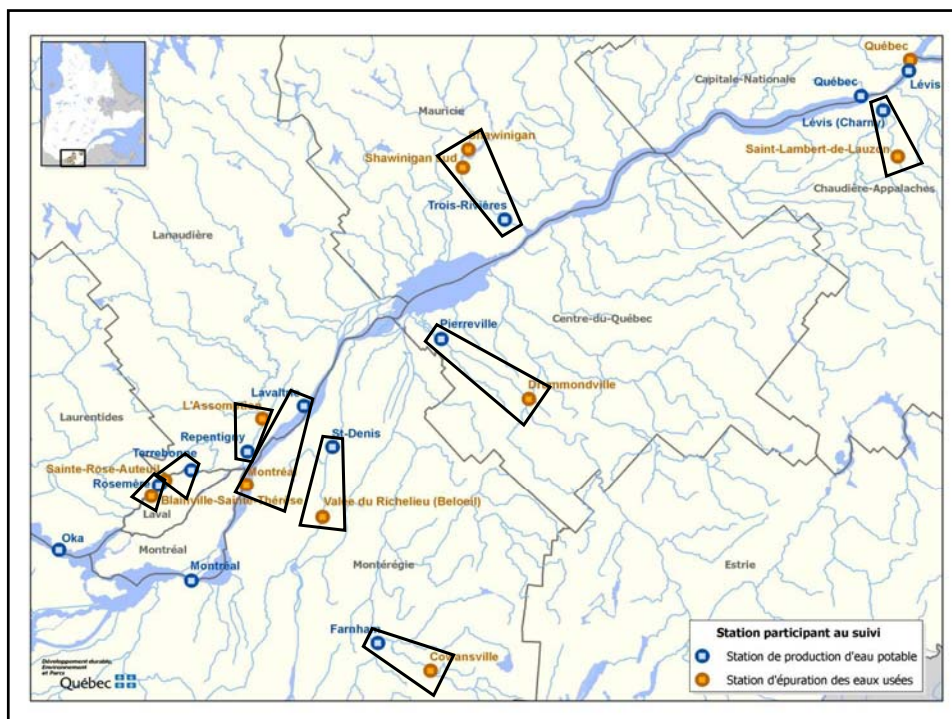
- Traitement pour production d'eau potable





# Les micropolluants : Traitement

- Étude au Québec par le MDDEP (*Hélène Tremblay*)
- Caractéristiques des stations sélectionnées :
  - Stations d'eau potable sélectionnées :
    - Situées sur dix cours d'eau ;
    - Elles ont toutes un traitement conventionnel ;
    - Entre 2000 et 1,5 million de personnes
  - Stations d'eaux usées sélectionnées :
    - Situées en amont des stations d'eau potable;
    - Traitements variés (lagunages, biofiltration, boues biologiques, physicochimique)
    - Entre 1500 et 1,5 million de personnes

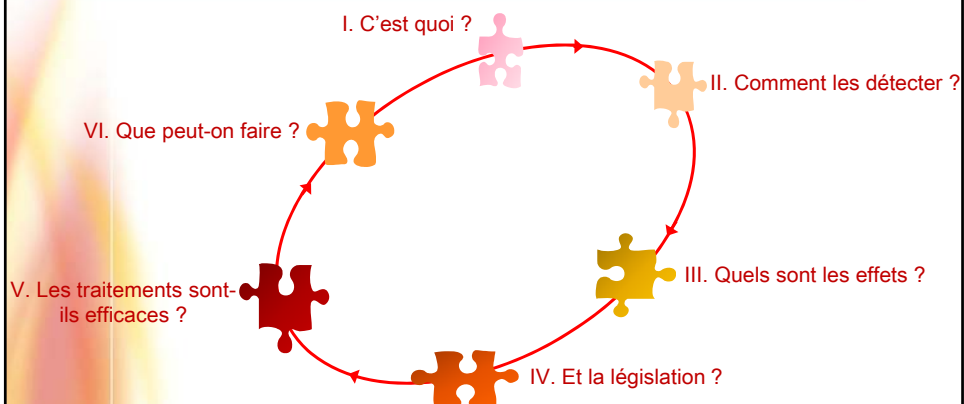




## Les micropolluants : Traitement

- Fréquence de détection des hormones :
  - Entrée de stations d'épuration : 53 – 67%
  - Sortie de stations d'épuration : 30 – 73%
  - Eau brute de traitement d'eau : 0 – 30%
  - Sortie d'eau potable : 0 – 2%
- Fréquence de détection des produits pharmaceutiques :
  - Entrée de stations d'épuration : 40 – 100%
  - Sortie de stations d'épuration : 33 – 100%
  - Eau brute de traitement d'eau : 0 – 90%
  - Sortie d'eau potable : 0 – 31%

## Les micropolluants...

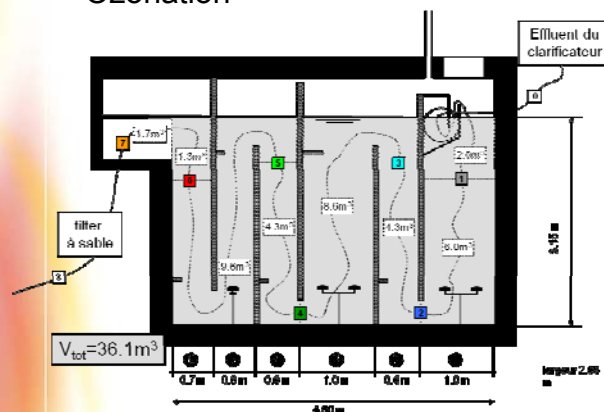


## Les micropolluants : Que faire ?

- Traitement plus performant
- Contrôle à la source
- Substitution

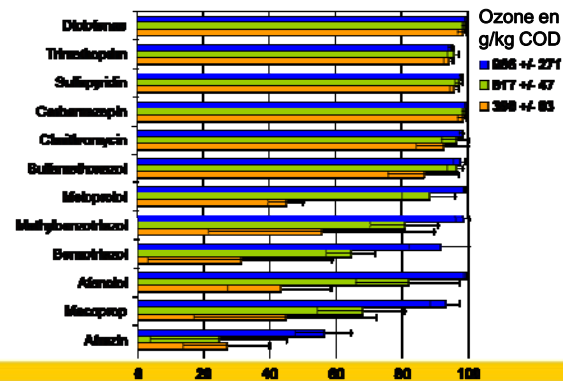
## Les micropolluants : Que faire ?

- Ozonation



## Les micropolluants : Que faire ?

- Performance d'élimination (%)  
en fonction de la quantité d'ozone introduite (*Hansruedi Siegrist*)

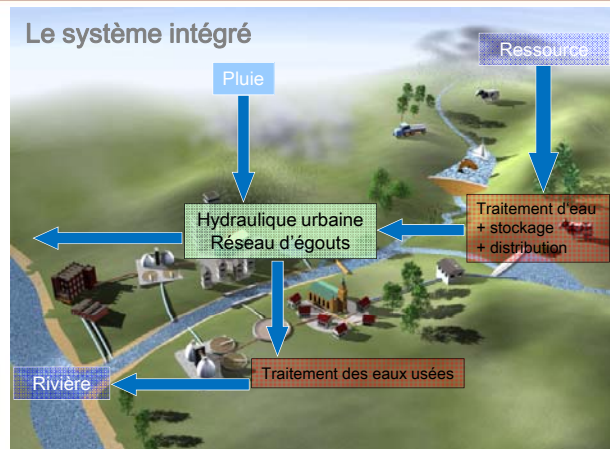


## Les micropolluants : Que faire ?

- Charbon activé



## Les micropolluants: Traitement



## Les micropolluants : Que faire ?

- Traitement plus performant
- Contrôle à la source
- Substitution

## Les micropolluants : Que faire ?

- Contrôle à la source : Ruissellement en agriculture



- Zones tampon (5 – 20 m)



## Les micropolluants : Que faire ?

- Contrôle à la source : Eaux pluviales
- Bassin d'orage Chauveau
  - Quartier résidentiel
  - Nouveau développement
  - ~15 ha
  - ~900 habitants



54



## Les micropolluants : Que faire ?

- Contrôle à la source : Eaux pluviales
- Bassin d'orage Chauveau
  - Protection contre des pluies de 100 ans
  - Volume total de 3300 m<sup>3</sup>
  - Hauteur max. 1,6 m



## Les micropolluants : Que faire ?

- Contrôle à la source : Eaux pluviales – Sortie ouverte





## Les micropolluants : Que faire ?

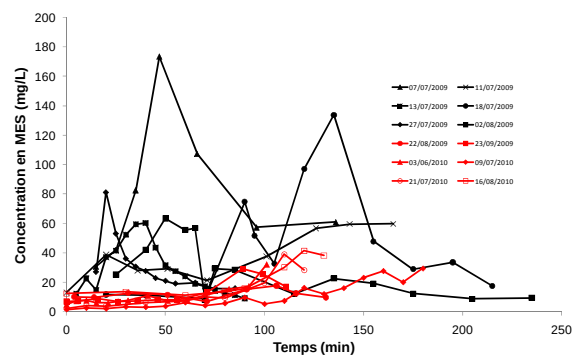
- Contrôle à la source : Eaux pluviales – Sortie fermée



## Les micropolluants : Que faire ?

- Contrôle à la source : Eaux pluviales

Sortie ouverte  
Sortie fermée

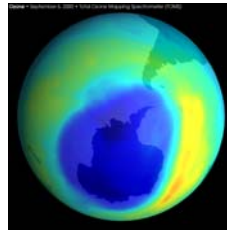




## Les micropolluants : Que faire ?

### ▪ Exemple de substitution :

- Le trou dans la couche d'ozone
- Les CFC (chlorofluorocarbures) ont été montrés du doigt
- Protocole de Montréal (1987)
- Ces substances ont été remplacées
- Couche sera rétablie au niveau de 1980 vers 2050



## Les micropolluants : Que faire ?

### ▪ Substitution

- Pas toujours possible
- Est-ce que l'utilisateur du produit sera d'accord
  - de payer plus pour la même chose ?
  - ou
  - ne plus avoir accès ?

## Les micropolluants : Que faire ?

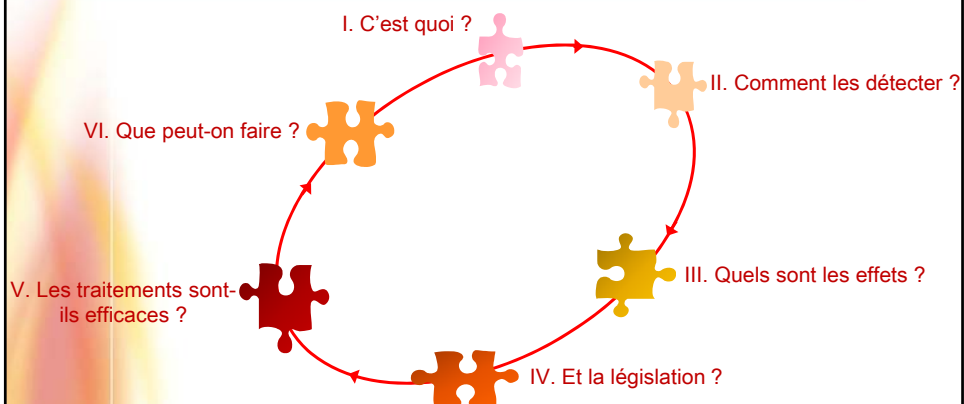
- Substitution partielle est souvent possible

- Exemple : Cadmium

- Difficile à remplacer pour des batteries NiCd
    - A été substitué comme
      - Pigment
      - Stabilisateur de PVC
      - ...



## Les micropolluants : Conclusion



## Conclusion

- Méthodes d'analyse sont prêtes
- Législation est en place
- Traitement
  - Conventionnel : assez efficace
  - Avancé : plus performant mais cher
- Autres approches
  - Substituer
  - Contrôler à la source
  - Essayer de concentrer les micropolluants



65



## Remerciements

- Ludiwine Clouzot
- Frédéric Cloutier
- Sébastien Sauvé



*Chaire de Recherche du Canada  
en Modélisation de la Qualité de l'Eau*



CRSNG



ScorePP

