

# L'efficacité comparée des processus de traitement de l'eau potable dans l'élimination des perturbateurs endocriniens et résidus de substances pharmaceutiques

Philippe BREANT - Veolia Environnement R & I  
Directeur du Programme Eau Potable

Lyon, 23 janvier 2012

# Plan

- **Contexte / Etat de la situation**
- **Efficacité des procédés et filières**
- **Comment optimiser le traitement**
- **Conclusion**

# Contexte / Etat de la situation

## ● Une nouvelle problématique :

- De milliers de nouveaux composés chimiques (développement de l'activité scientifique et industrielle).
- Les polluants chimiques (RMMs, PEs, POPs...) sont présents à de faibles concentrations dans tous les compartiments de l'environnement : Air, sols, sédiments et eaux (ERU, ES, ESO, EP).
- Les risques environnementaux et sanitaires des composés chimiques (émergents) sont un sujet de préoccupation croissante dans la communauté scientifique et réglementaire ainsi que dans le public en général.

RMMs : Résidus de Molécules Médicamenteuses

PEs : Perturbateurs Endocriniens

POPs : Polluants Organiques Persistants

ERU : Eau Résiduaire Urbaine

ES : Eaux de Surface

ESO : Eaux Souterraines

EP : Eau Potable

# Contexte / Etat de la situation

## Des concentrations variables en fonction de la matrice

Perturbateur Endocrinien	Entrée STEP (ng/L)	Sortie STEP (ng/L)	Eaux de Surface (ng/L)	Eaux destinées à la consommation humaine (ng/L)
	min - max	min - max	min - max	min - max
17 $\alpha$ -estradiol	< 0,4 - 8,4	< 0,4	< 0,2	ND
17 $\beta$ -estradiol	12 - 24	< 0,4 - 0,9	< 0,2 - 0,2	ND
17 $\alpha$ -éthynilestradiol	< 0,4 - 1,6	< 0,4	< 0,2	ND
Estrone	48 - 73	< 0,4 - 1,6	< 0,2 - 0,5	< 0,2 - 0,5
Nonylphénol	1000 - 5500	< 200 - 300	ND	ND
Bisphénol A (BPA)	1840 - 2030	2080 - 3400	< 10 - 66	< 10

# Contexte / Etat de la situation

Résidus de Substance Pharmaceutique	Entrée STEP (ng/L)	Sortie STEP (ng/L)	Eaux de Surface (ng/L)	Eaux destinées à la consommation humaine (ng/L)
	min - max	min - max	min - max	min - max
<b>Analgésiques /Anti-inflammatoires</b>				
Paracétamol	6510 - 428460	180 - 1354	24 - 490	Non détecté ND
Diclofenac	566 - 2808	348 - 1496	ND - 41	ND
Phénazone	< 25	ND - < 25	ND	ND
<b>Antidépresseurs</b>				
Fluxétine	146 - 1527	< 100 - 1067	ND	ND
<b>Antiépileptiques</b>				
Carbamazépine	< 100 - 470	141 - 773	< 10 - 21	ND
Primidone	92 - 898	145 - 792	ND	ND
<b>Lipo-régulateurs</b>				
Bezafibrate	441 - 4292	42 - 353	< 10 - 44	ND
Gemfibrozil	574 - 2372	48 - 367		ND
<b>Béta-bloquants</b>				
Métoprolol	224 - 754	< 100 - 160	ND	ND
Propranolol	168 - 438	119 - 314	< 10	ND
<b>Antibiotiques</b>				
Sulfamérazine	< 50 - 52	< 25	< 10	ND
Sulfaméthoxazole	124 - 3886	93 - 190	< 10 - 18	ND
Triméthoprim	99 - 907	55 - 184	ND	ND
Erythromycine-H2O	112 - 1198	< 25 - 108	< 10 - 35	ND

# Contexte / Etat de la situation

## ● Réglementation

- La législation établie par la Commission Européenne (et dans tous les pays du monde) devient de plus en plus importante.
  - Les objectifs de ces lois sont comparables : il est interdit d'introduire dans un plan d'eau toute substance qui peut polluer les eaux, directement ou indirectement.
- Cependant seule une fraction des composés chimiques sont actuellement réglementées.
  - En Europe, 48 paramètres sont surveillés obligatoirement : bactéries (indiquant la contamination fécale), les nitrates et les pesticides et leurs sous-produits.
- ... et traditionnellement se focalisant sur les évaluations chimiques molécule par molécule.
- Des discussions sont en cours pour intégrer certaines molécules à la liste des substances prioritaires (DCE)

# Contexte / Etat de la situation

**Qualité des ressources :**  
 De nombreuses substances telles que perturbateurs endocriniens, résidus pharmaceutiques ou chimiques, pesticides sont détectées dans les campagnes d'analyses des ressources en eau.

Species	Concentration (ng.L <sup>-1</sup> )	Country
<b>EDCs</b>		
17β-estradiol	0,2 – 0,6	Germany
Estrone	0,4 0,5 – 2,9	Germany Canada
Bisphénol A (BPA)	0,5 – 2,0 420*	Germany US
<b>Pharmaceuticals</b>		
Carbamazépine	ND – 1400 10 – 30 29 ND – 43,2	Canada Germany US France
Bezafibrate	27	Germany
Ibuprofene	ND – 0,6 3,0 – 3,8	France Canada
Paracétamol	ND – 210,1	France
<b>Pesticides</b>		
AMPA	295	France
DEA	20	France

# Contexte / Etat de la situation

- **Campagne d'analyses de grande envergure** : Campagne mensuelle de Juin 2008 à Juillet 2010 sur une soixantaine de composés (pharmaceutiques, antibiotiques, pesticides, hormones...)

## Composés pharmaceutiques

### Analgésiques /Anti-inflammatoires

Paracetamol  
Diclofenac  
Ketoprofene  
Phenazone  
Acide Salicylique

### Anti-épileptiques

Carbamazepine

### Lipo-régulateurs

Fenofibrate  
Bezafibrate

### Béta-bloquants

Metoprolol  
Propranolol

## Antibiotiques

### Sulfonamides

Sulfamerazine  
Sulfamethoxazole  
Sulfachloropyridazine

### Fluoroquinolones

Ciprofloxacine  
Ofloxacine

### Macrolides

Spiramycine  
Erythromycine- H2O  
Roxithromycine  
Tylosine

## Plastifiants

Buthylbenzylphtalate  
Di-n-buthylphtalate  
Diéthylphtalate  
Di-n-octyphtalate  
Ethylhexyphtalate

## Divers micropolluants organiques

Estradiol-alpha  
Estradiol-béta  
Estrone  
Ethynyl estradiol  
nonylphénol  
  
Chlordécone

# Contexte / Etat de la situation

## Pesticides organo-chlorés

Endosulfan-alpha  
hexachlorobenzène  
HCH-gamma

## Pesticides divers

AMPA  
Glyphosate  
2,4 D  
2,4 DB  
Acétochlore  
Alachlore  
Bromoxynil  
Bentazone  
Dicamba  
Diméthénamide  
Fluroxypyr  
Foramsulfuron  
Ioxynil  
Mesotrione

Métolachlore  
Nicosulfuron  
Oxadiazon  
Pendiméthaline  
Prosulfuron  
Rimsulfuron  
Sulcotrione  
Triclopyr  
1-(3,4 dichlorophényl) 3 méthyl urée  
Carbendazime  
DEA  
DIA  
Déséthyl terbutylazine  
Déisopropylatrazine  
Diuron  
Hydroxy atrazine  
Isoproturon  
Linuron  
Terbutryne

# Contexte / Etat de la situation

Pharma		juin-08	juil-08	août-08	sept-08	oct-08	nov-08
Paracetamol	ng/l	<b>109</b>	<b>42</b>	<b>35</b>	<b>25</b>	<b>24</b>	<b>50</b>
Diclofenac	ng/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	<b>14</b>
Ketoprofene	ng/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	<b>11</b>
Carbamazepine	ng/l	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>16</b>
Bezafibrate	ng/l	< LQ	11	< LQ	< LQ	< LQ	<b>11</b>

Pharma		déc-08	janv-09	mars-09	mai-09	juin-09	juil-09
Paracetamol	ng/l	<b>80</b>	<b>161</b>	<b>125</b>	<b>45</b>	<b>165</b>	<b>27</b>
Diclofenac	ng/l	<b>10</b>	<b>10</b>	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Ketoprofene	ng/l	<b>20</b>	<LQ	< LQ	*	*	*
Carbamazepine	ng/l	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>17</b>	<b>21</b>	<b>17</b>
Bezafibrate	ng/l	<b>19</b>	<b>44</b>	<b>16</b>	<b>22</b>	<b>25</b>	< LQ

L'eau de la Marne contient tout au long de l'année :

**Paracétamol et Carbamazepine**

# Contexte / Etat de la situation

Antibio		juin-08	juil-08	août-08	sept-08	oct-08	nov-08
Erythromycine- H2O	ng/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	17	< LQ
Ciprofloxacine	ng/l	<b>18</b>	< LQ	< LQ	< LQ	18	< LQ
Ofloxacine	ng/l	<b>11</b>	< LQ	< LQ	< LQ	19	< LQ

Antibio		déc-08	janv-09	mars-09	mai-09	juin-09	juil-09
Erythromycine- H2O	ng/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	<b>12</b>	< LQ
Ciprofloxacine	ng/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Ofloxacine	ng/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ

Hormone		juin-08	juil-08	août-08	sept-08	oct-08	nov-08
Estrone	ng/l	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>

Hormone		déc-08	janv-09	mars-09	mai-09	juin-09	juil-09
Estrone	ng/l	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	< LQ

L'estrone se retrouve en permanence dans la Marne  
Très peu d'antibiotiques sont retrouvés dans la Marne

# Pesticides dans la Marne

Pesticide		juin-08	juil-08	août-08	sept-08	oct-08	nov-08
Carbendazime	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
AMPA	µg/l	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,31</b>	<b>0,39</b>	<b>0,17</b>	<b>0,25</b>
DEA	µg/l	< LQ	<b>0,04</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	< LQ
DIA	µg/l	< LQ	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	< LQ	< LQ	0.02
Diuron	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	< LQ
Isoproturon	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	<b>0,04</b>
Glyphosate	µg/l	<b>0,1</b>	< LQ				

Pesticide		déc-08	janv-09	mars-09	mai-09	juin-09	juil-09
Carbendazime	µg/l	<b>0,03</b>	< LQ				
AMPA	µg/l	<b>0,11</b>	<b>0,12</b>	<b>0,12</b>	<b>0,27</b>	<b>0,6</b>	<b>0,5</b>
DEA	µg/l	<b>0,02</b>	< LQ	< LQ	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>
DIA	µg/l	< LQ					
Diuron	µg/l	< LQ					
Isoproturon	µg/l	<b>0,06</b>	<b>0,05</b>	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Glyphosate	µg/l	< LQ	< LQ	< LQ	<b>0,19</b>	<b>0,27</b>	<b>0,17</b>

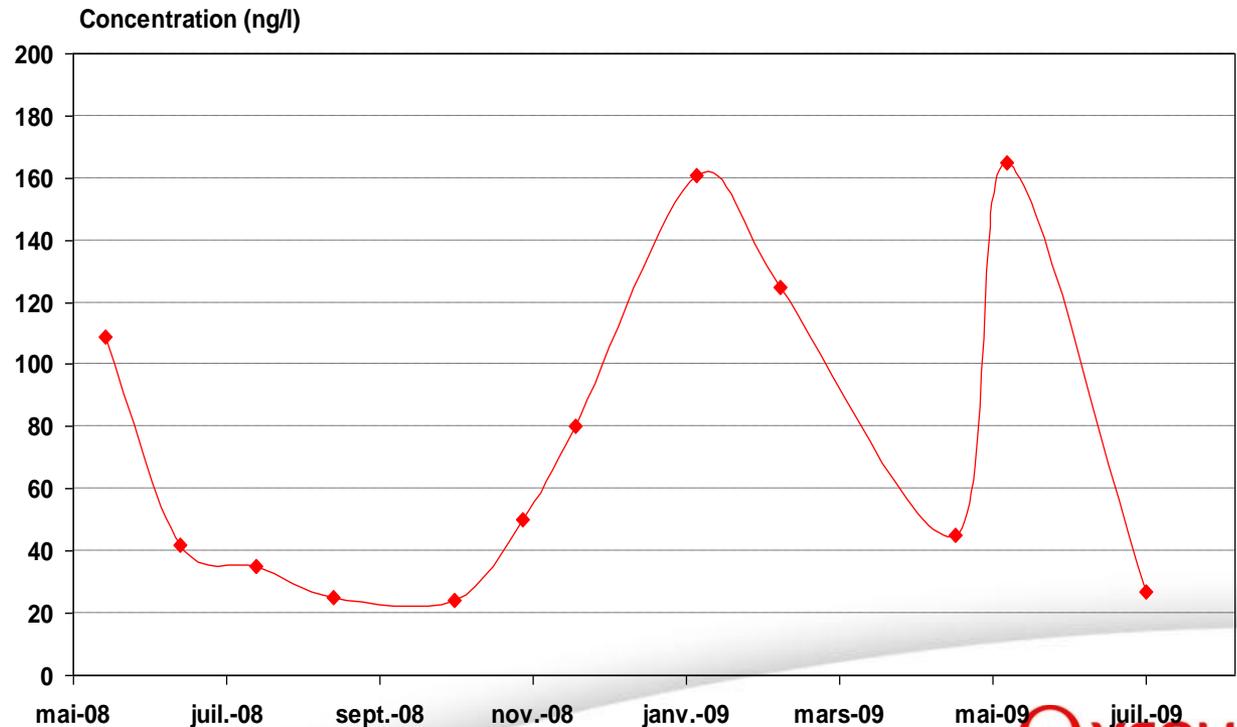
**L'eau de Marne contient constamment:**  
**AMPA et DEA**

# Contexte / Etat de la situation

Accroissement de la concentration et du nombre de substances depuis quelques années ?

- Peu de mesures disponibles dans le temps
- Amélioration des méthodes d'analyse (abaissement de la limite de quantification)
- Effet saisonnier :

Evolution d'une substance pharma dans une rivière d'Ile de France



# Contexte / Etat de la situation

## Comment produire une eau potable aujourd'hui dans ce contexte ?

Nous devons proposer des nouvelles filières ou adapter les filières de traitement existantes dans le but de :

- ↳ Abbatre les micropolluants
- ↳ Prendre en compte l'effet saisonnier des ressources
- ↳ Anticiper la dégradation possible des ressources
- ↳ Anticiper les futurs normes
- ↳ Efficacité mais low carbon footprint et low water footprint !
- ↳ Prendre en compte l'impact environnemental global

# Efficacité des filières

## Principaux polluants à traiter pour la production d'une eau potable à partir d'une ressource polluée :

- **Matières en suspension (Turbidité)**
  - **Décantation**, filtration, **Membranes**
- **Bactéries, virus ... (E Coli, Cryptosporidium, Giardia, rotavirus,...)**
  - filtration, décantation, **Membranes**, Désinfection
- **Matière organique (COT)**
  - **Décantation**, CAP, Ozone-CAG, **Membranes**
- **Polluants émergents ( EDC, pharmaceuticals, pesticides,...)**
  - **CAP, Ozone-CAG, Oxidation avancée, Membranes**
- **Sels (TDS)**
  - **Membranes, Distillation, EDR, EDI,...**

**Polluants spécifiques (Mn, Fe, As, Bromate,...)**

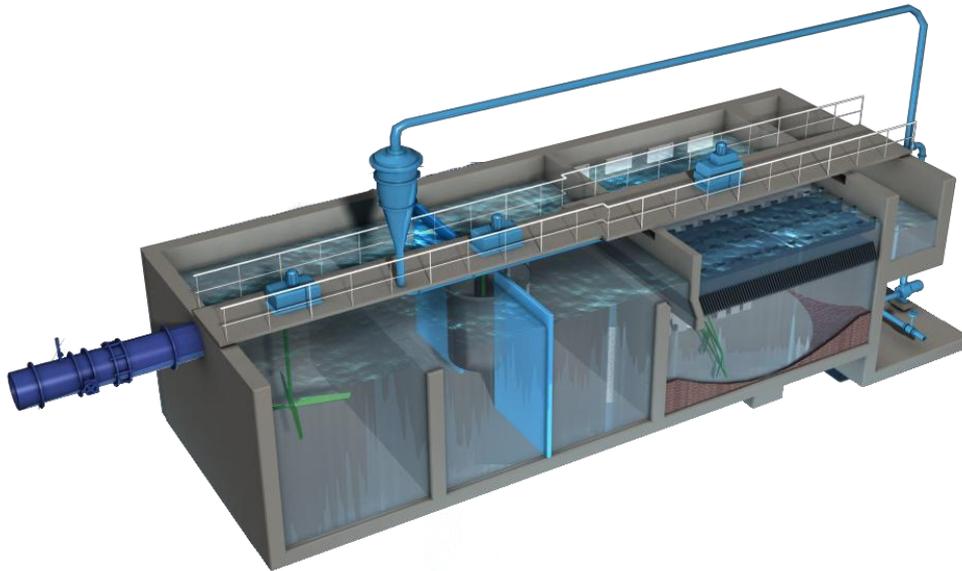
● Procédé spécifique fonction du polluant et de la norme

**Nous avons lancé une large campagne d'analyses en 2009 et 2010 pour évaluer l'efficacité des différents traitements classiquement utilisés dans les filières de production d'eau potable :**

- Analyses sur plusieurs usines existantes
- Analyses sur filières pilotes avec dopage en polluants (pour les polluants non chroniques ou à très faible concentration dans les ressources)
- Plus de 1000 résultats résumés par type de traitement, présentés dans la suite

# Efficacité des filières

## Clarification



**Procédé Actiflo**

Pollutants	Removal efficiency
Pharmaceuticals	< 10%
EDCs	< 20%
Pesticides	< 20%
Industrial Chemicals	< 20-40%

# Efficacité des filières

$O_3$  / CAG

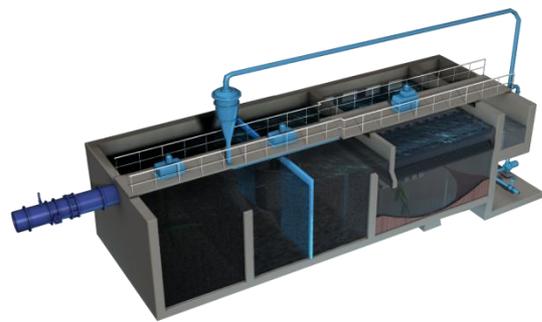


**Coliban DWTP - Australie**

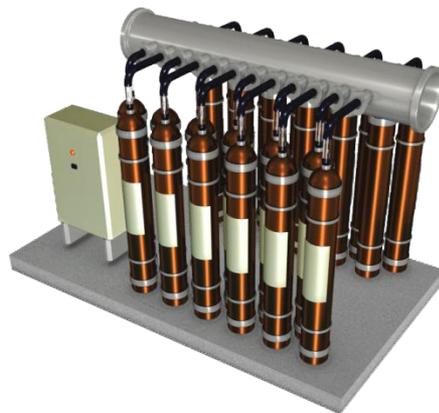
Pollutants	Removal efficiency
Pharmaceuticals	10 - > 90 %
EDCs	> 90 %
Pesticides	20 - 90 %
Industrial Chemicals	40 - 90 %

# Efficacité des filières

## CAP / UF : Opaline<sup>®</sup>



**ActifloCarb**



**Ultrafiltration**



**L'Haye-les-Roses DWTP - Paris**

Pollutants	Removal efficiency
Pharmaceuticals	50 - > 90 %
EDCs	> 90 %
Pesticides	20 - 90 %
Industrial Chemicals	40 - 90 %

# Efficacité des filières

## Osmose Inverse Basse Pression (nanofiltration)



Pollutants	Removal efficiency
Pharmaceuticals	50 - > 95 %
EDCs	> 95 %
Pesticides	> 95 %
Industrial Chemicals	> 95 %

Annet / Marne – France  
Plateforme d'essais Eau Potable



## Osmose Inverse (dessalement)



**Ashkelon Desalination  
plant - Israel**

Pollutants	Removal efficiency
Pharmaceuticals	> 95 %
EDCs	> 95 %
Pesticides	> 95 %
Industrial Chemicals	> 95 %

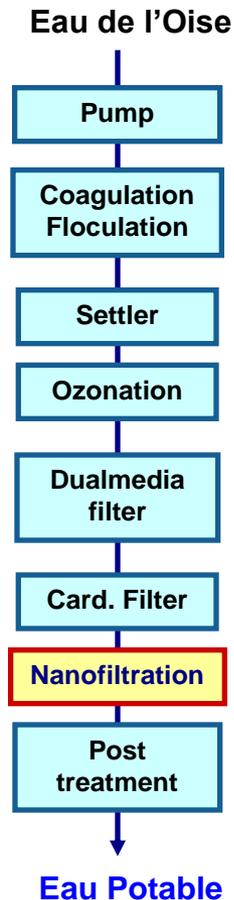


# Exemple : Elimination des Perchlorates (ClO4-)

- Ions perchlorate :
  - Fort oxydant
- Sources principales : **domaines militaires et de l'aérospatial**
  - oxydant pour les propulseurs de fusées,
  - rockets,
  - fusées éclairantes,
  - poudre de certaines armes à feu,
- Juillet 2011- Crise sanitaire à Bordeaux
  - Observation de taux importants de perchlorates dans les ressources souterraines de la ville
  - Région Toulousaine Prospectif ARS (suite alerte DREAL) : Observé en aout 2011 dans la Garonne
- Avis de la DGS :
  - Limite de 15 µg/L pour l'ensemble de la population
  - Limite de 4 µg/L pour les nourrissons

Traitements	Abattements
Résines non spécifique	30 à 50 %
Résines spécifique nitrate	50 à 75 %
Résines spécifiques ClO4-	> 80 %
Membranes NF 90	> 80 %

# Exemple : usine de Méry-sur-Oise

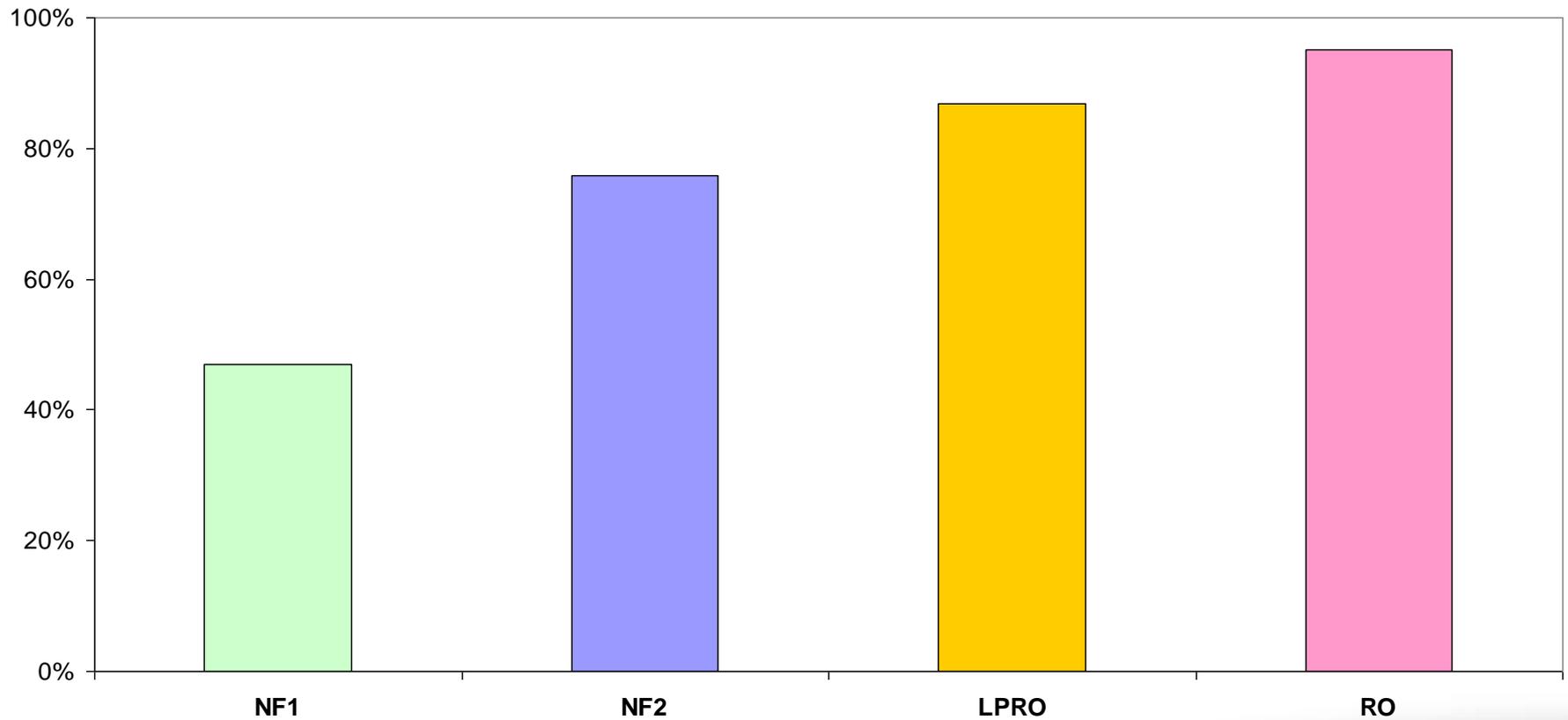


- **Principaux objectifs :**
  - **Abatement de la matière organique naturel (COD),**
  - **Abatement des pesticides et autres micro-pollutants,**
  - **Adoucissement partiel**
- **140 000 m3/jour, construit et exploité par Veolia Eau depuis 1999**
- **Plus grande usine Osmose Inverse BP sur une eau de surface**
- **Membranes NF 200, développée conjointement avec DOW**



# Flexibilité des systèmes membranaires : exemple d'adaptation

## Abatement d'un produit spécifique : le paracétamol



# L'optimisation des procédés de production Eau Potable

Le design des procédés doit dépendre :

- ↪ de l'état des ressources
- ↪ de la nature des micro-polluants à retirer
- ↪ de la volonté d'anticiper les futurs normes

**Les procédés membranaires apportent la réponse à ces questions**

# L'optimisation des procédés de production Eau Potable

Le design des filières de traitement doit aussi tenir compte :

↳ Low carbon footprint : procédé avec la plus faible consommation énergétique notamment

↳ Low water footprint : procédé avec le meilleur rendement hydraulique

↳ Low resource impact : traitement des effluents (lavage de filtres, concentrats membranaires) avant rejets dans le milieu naturel

# CONCLUSIONS

- Les procédés membranaires sont de plus en plus utilisés dans les filières de traitement pour la garantie apportée sur la qualité de l'eau produite.
- Intérêt particulier de l'Osmose Inverse Basse Pression (nanofiltration) comme solution optimale pour l'abattement conjugué de la matière organique et des polluants émergents comme les perturbateurs endocriniens ou les composés pharmaceutiques.
- les procédés membranaires sont "adaptatifs"
- les procédés membranaires peuvent être compatibles avec une approche globale du respect de l'impact environnemental

Merci de votre attention