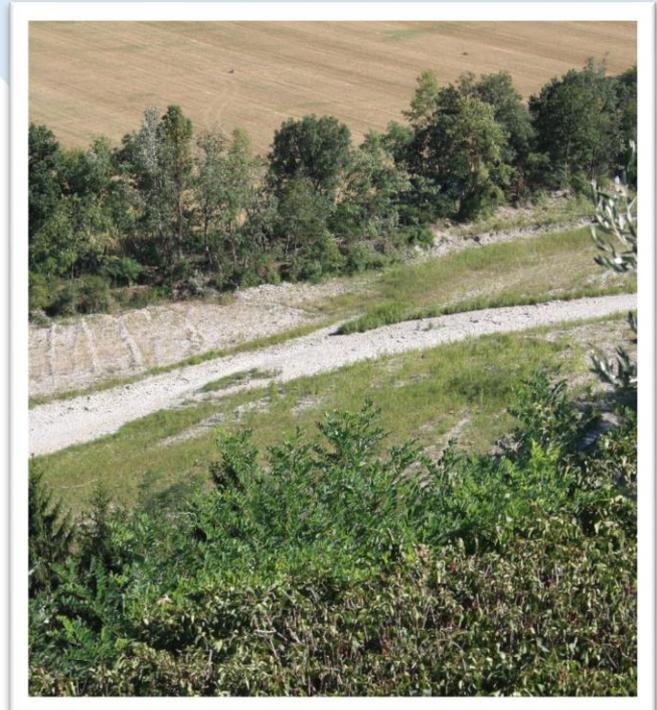




**Les challenges de  
l'assainissement (et de la  
gestion de l'eau) du futur**





# Sommaire

## A. Les grandes problématiques

- Le contexte général
- L'influence du changement climatique et des enjeux épuratoires
- L'évolution de la connaissance des polluants émergents : micropolluants, pollutions moléculaires, macro, micro et nano plastiques ou nano éléments
- Particularité des pollutions diffuses (eau pluviale, agriculture, domestique et industriel)

## B. Les Possibilités offertes par les traitements actuels

- Les traitements secondaires classiques face aux micropolluants émergents
- Les apports des traitements tertiaires et quaternaires



# Sommaire

## **C. Les dysfonctionnements et impacts des traitements secondaires sur les traitements complémentaires**

- Les-dysfonctionnements
- Les apports des techniques de contrôle avancé : les capteurs, les comptages, l'optimisation

## **D. Conclusion**

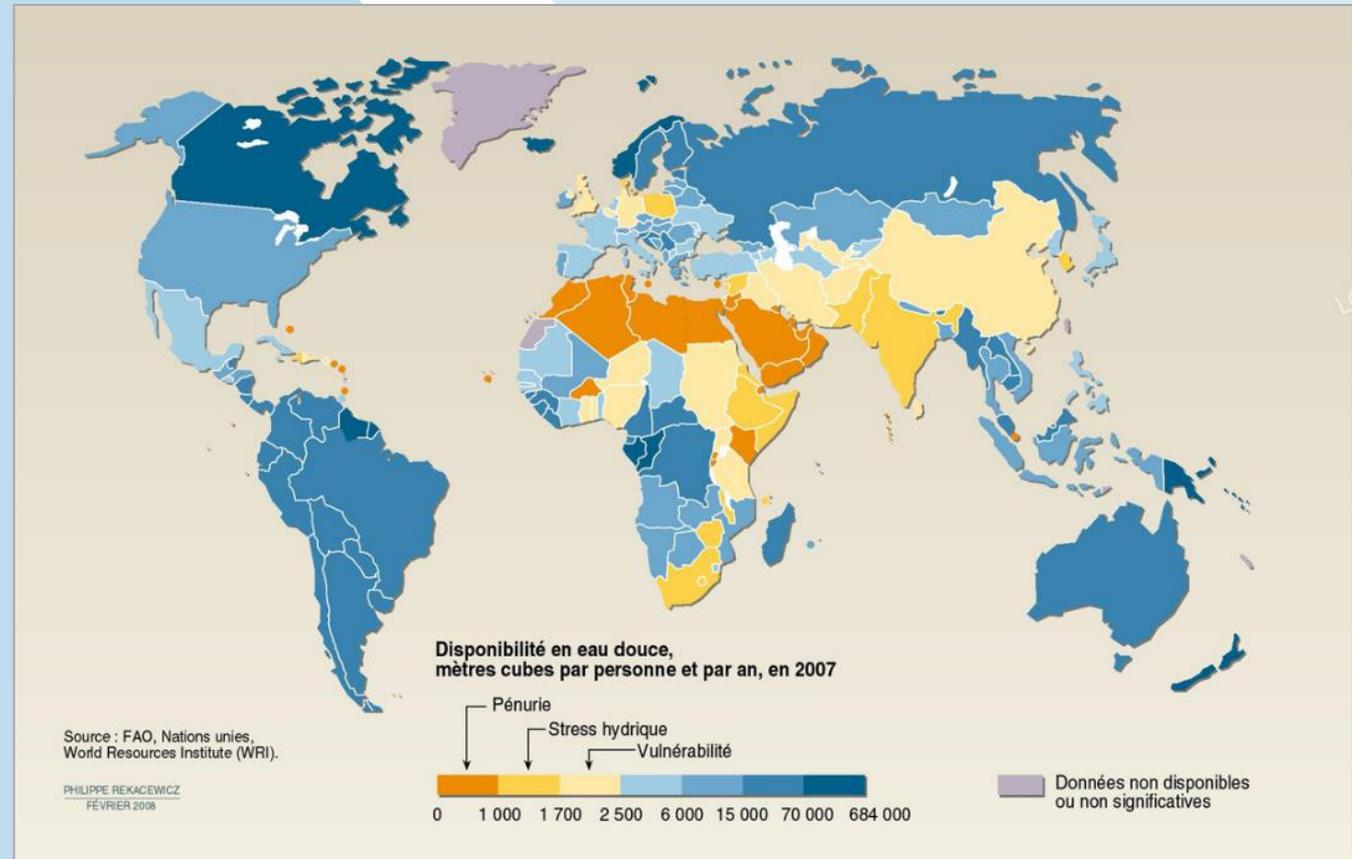
- Des tendances vers des traitements plus coûteux
- La réutilisation et les principes d'économie circulaire au cœur des choix techniques
- Les traitements à la source nécessaires
- La nécessité de la connaissance et de la formation pour la conception et l'exploitation

# A/ Grande problématique : Changement climatique : stress hydrique

9 pays se partagent 60% des ressources en eau douce

(Brésil, Russie, Chine, Canada, Indonésie, États-Unis, Inde, Colombie et RDC)

En 2030, plus de 50 pays seraient en stress hydrique

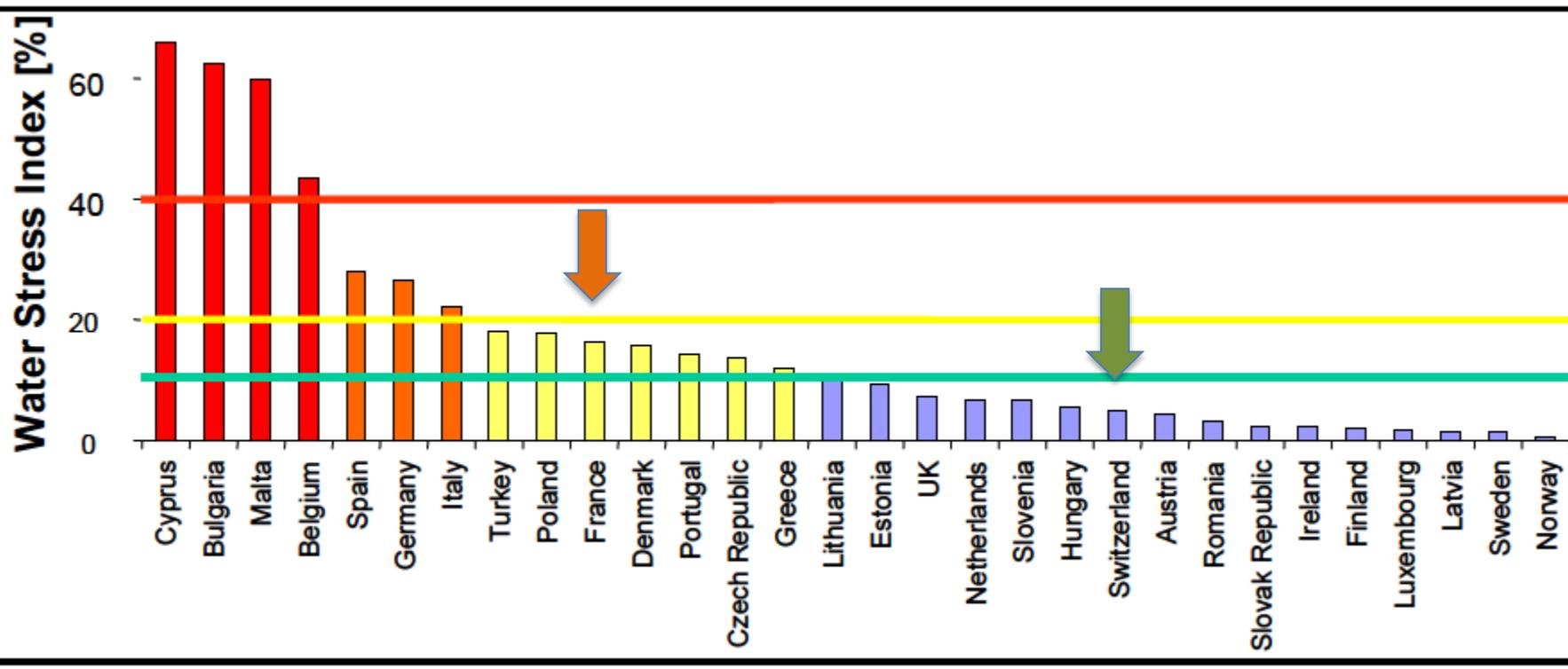


Source : FAO, WRI, Agences de l'eau - ONEMA  
Infographie : Le Monde Diplomatique

# A/ Grande problématique sur les ressources

## Rappel sur le changement du climat

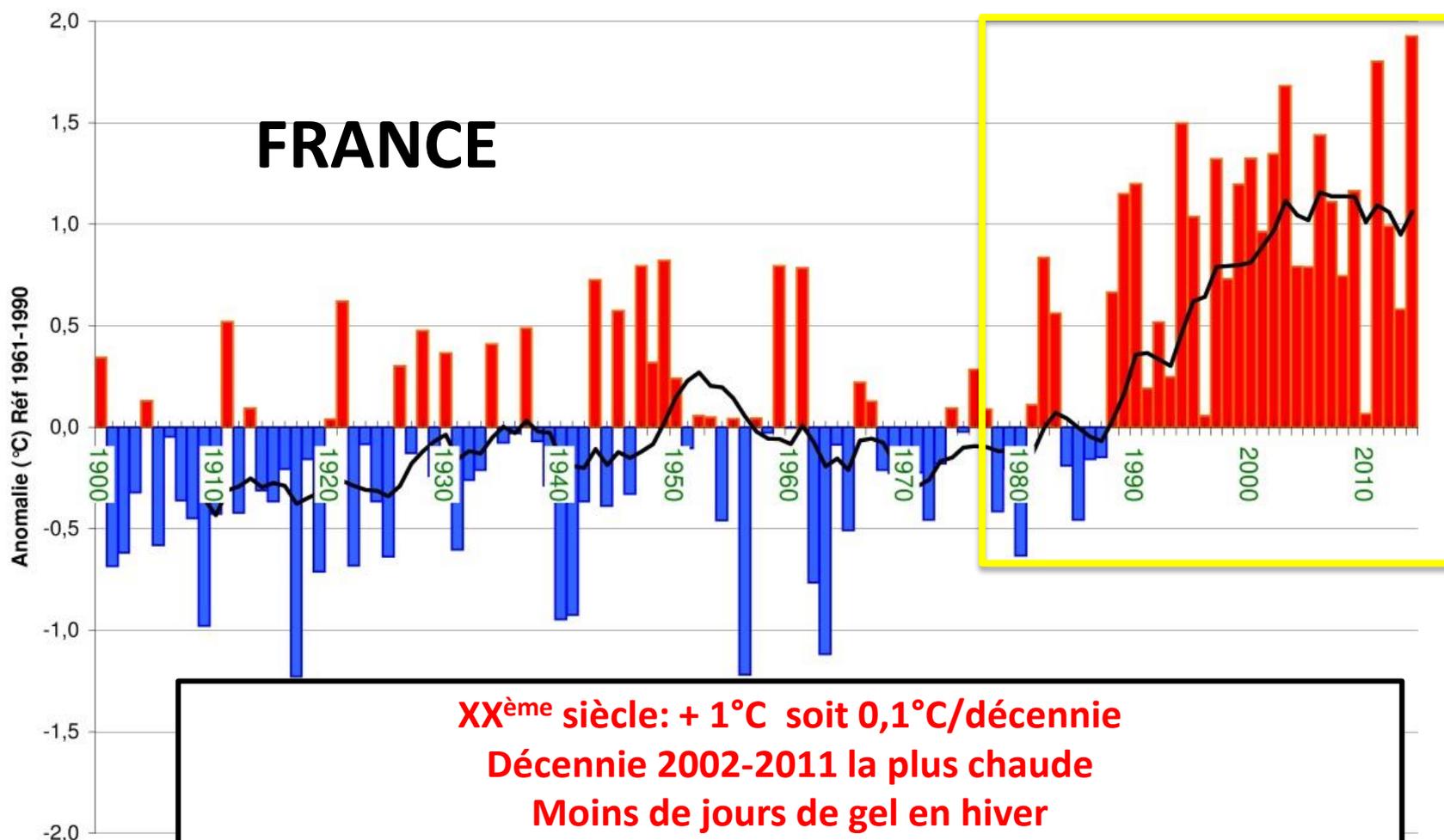
### Indice de stress hydrique



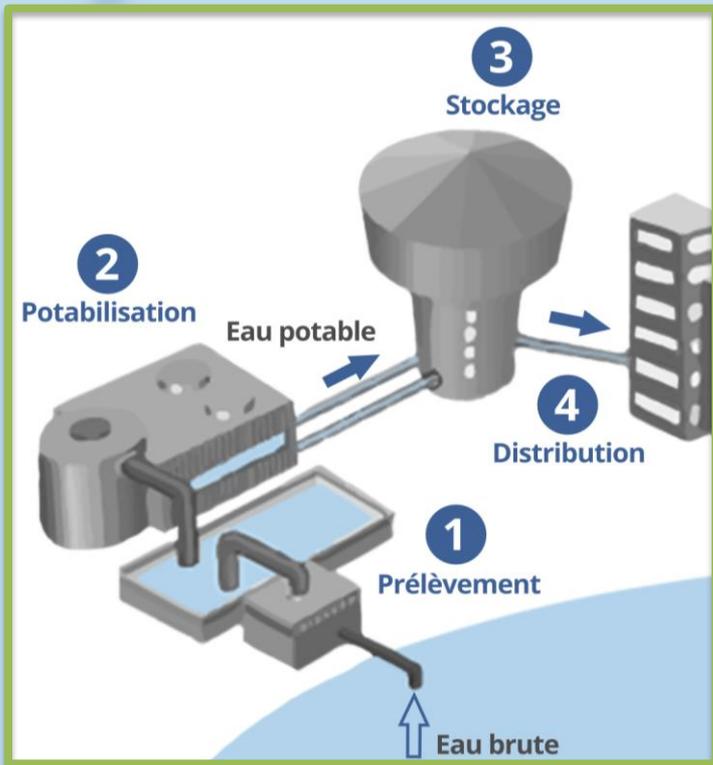
L'OCDE qualifie le stress hydrique d'important > 40%

# A/ Grande problématique sur les ressources

## Le changement du climat

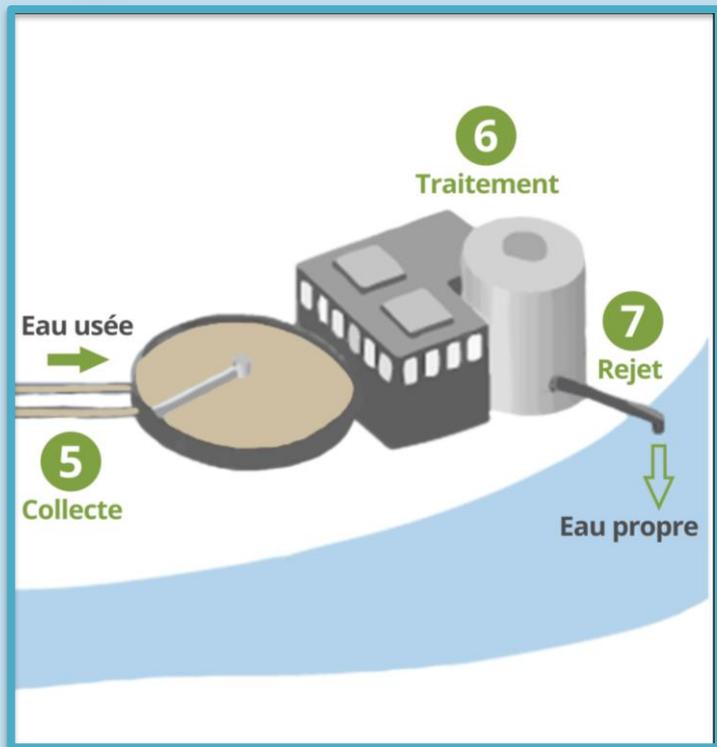


# A/ Le climat : enjeux et risques: Eau potable et ressource



- Moins d'eau douce disponible :
  - Accès à l'eau potable rendu plus difficile
  - Adapter les qualités aux usages
  - **Fédérer les usages et les prélèvements**
- Diminution **de la qualité des eaux brutes**, augmentation des connaissances sur les substances toxiques
  - plus de traitements nécessaires
  - hausse du prix de l'eau
- Qualité de la ressource variable :
  - adaptation constante des traitements
  - **Nécessité d'amélioration des rejets**
- Renouvellement du patrimoine :
  - Augmentation de la technicité et de l'intelligence

# A/ Les enjeux et risques: Assainissement



- **Fortes pluies fontes des neiges:**
  - Saturation des réseaux
  - **STEP hors service, rejet direct**
  - Risques sanitaires et **milieux récepteurs + vulnérables**
- **Vagues de chaleur et stress hydrique:**
  - Dysfonctionnement des traitements
  - Problèmes d'odeurs et d'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S)
  - **Diminution des débits des cours d'eau et nouvelles pollutions à traiter : (autopurpuration, concentration): impacts de l'assainissement et pollutions diffuses**
  - Intensification du traitement des eaux usées, rapprochement assainissement et eaux potables, patrimoine à gérer
  - Enjeux de reuse et recyclage
  - **Risque sur les valorisations agricoles**

## A/ Les enjeux et risques: Eaux pluviales

- Ruissellement urbain augmenté, déversements, engorgements, lessivages
- Micropolluants en eaux de surface (amont Eau potable): traitements augmentés, ressources fragilisées
- Engorgement des systèmes de collecte sur évènements climatiques



Nécessité de gérer de manière optimale les eaux pluviales, traitements des EP nécessaires

# A/ Les enjeux et risques: Les facteurs inquiétants

- **Il faut donc répondre:**
  - Aux impacts du (et adaptation au) changement climatique
  - Aux conflits d'usages (avec le CC, la démographie, l'activité industrielle)
  - Aux développements industriels
  - **Aux nouvelles préoccupations « sanitaires » et nouvelles pollutions**
    - Pollution moléculaire
      - Micropolluants métalliques
      - Endocriniens, médicamenteux etc
      - Toxines
      - Molécules de dégradations et de combinaisons
    - Micro/nano plastiques
    - Salinité en zone côtière
    - Pollutions microbiologiques pathogènes (auto épuration en baisse, ressources superficielles de plus en plus utilisées...)
  - **A la pérennité des ouvrages actuels et futurs**

# A/Quelques grands principes innovants en réponses

L' «AGILITE»  
en TERME DE  
GESTION  
TERRITORIALE

VILLES  
/INDUSTRIE/  
AGRICULTURE  
DANS UN  
BASSIN

ECONOMIE DES  
USAGES,  
MAITRISE DES  
COURBES  
DEMANDES  
/RESSOURCES

LES  
TRAITEMENTS  
« NOUVELLE »  
GENERATION

EVALUATION  
DES SERVICES  
ECO-  
SYSTEMIQUES

SYNERGIE  
SYMBIOSE

AFFINAGES  
ET  
POSSIBILITES  
DE REUSE

CO  
PRODUCTION  
D'ENERGIE et  
DE  
BIOPRODUITS

GESTION  
PATRIMONIALE  
AVANCES

LES « SMART »  
CITIES,  
NETWORKS...

LES  
TECHNIQUES  
PLUS  
« EFFICACES »

OPTIMISATION

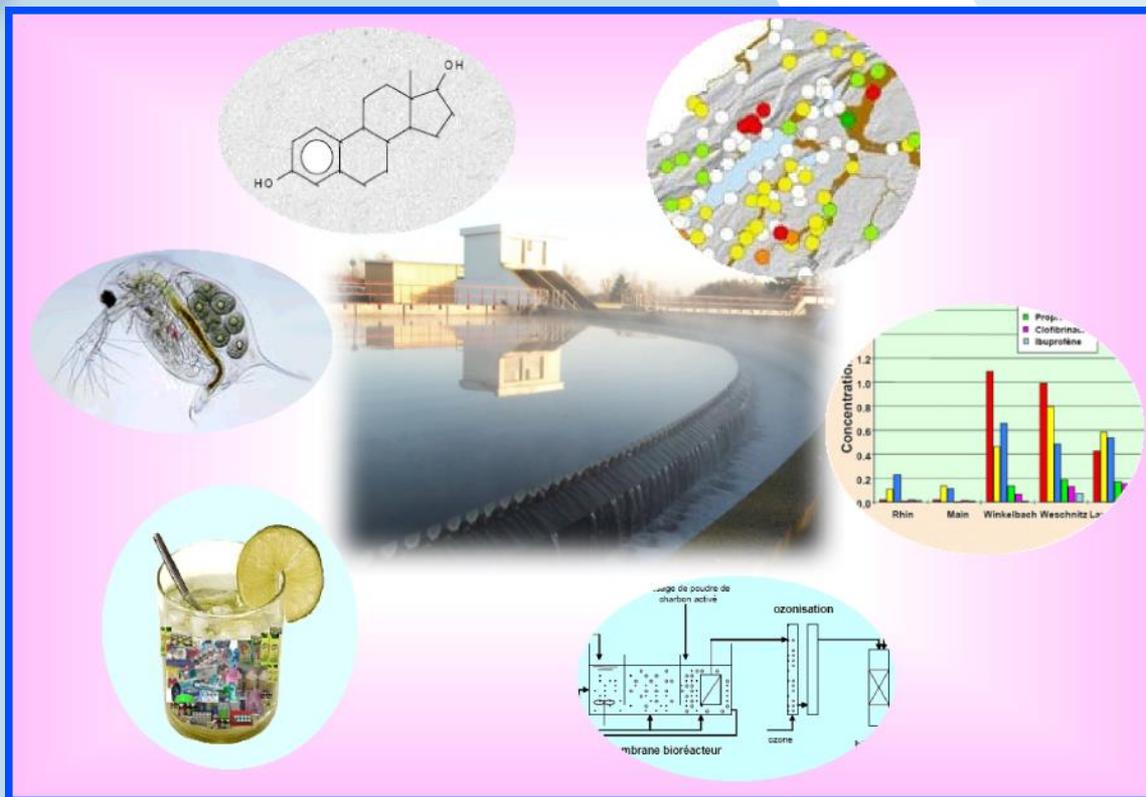
Intégration  
d'analyse du  
cycle de vie

INTELLIGENCE  
DES DONNEES

CAPTEURS ET  
RESEAUX de  
MESURES

ECOINGENIERIES

# A/ Grande problématique: Les polluants émergents.



MICROPOLLUANTS

ETAT DES LIEUX



# A/ Grande problématique: Les polluants émergents: une histoire de dose active

« *Tout est toxique, rien n'est toxique,  
c'est la dose qui fait la différence* »



*Paracelse,  
16ème siècle*

## POLLUANTS :

Substances détectables dans l'environnement et qui engendrent des effets négatifs sur les organismes vivants

## MICROPOLLUANTS : pas de réalité physico-chimique du terme

Substances détectables dans l'environnement et qui engendrent des effets négatifs **à de très faibles quantités** sur les organismes vivants

# A/ Grande problématique: Les polluants émergents: une histoire de dose active

Une substance active minérale ou organique susceptible d'être **toxique, persistante et bioaccumulable dans le milieu, à des concentrations faibles (de l'ordre du mg ou du µg/l).**

Sont normalement des micropolluants les substances surveillées au titre de la directive cadre sur l'eau (ar 25/01/10) et arrêté du 21/07/15

Micropolluants minéraux



Micropolluants organiques

Micropolluants naturels

Micropolluants de synthèse

# A/ Grande problématique: Les polluants émergents: Marché des produits chimiques

**47 millions de substances** – naturelles ou synthétiques – organiques ou inorganiques – sont actuellement recensées dans la banque de données du « Chemical Abstract Service ».

**11 000 nouvelles substances par jour**  
au cours des 7 dernières années  
⇒ textiles, lessives, médicaments,  
⇒ crèmes solaires, boîtes de conserve,  
⇒ insecticides....

**Production chimique mondiale :**  
• 1 million de tonnes / an en 1930  
• 130 millions de tonnes / an en 2010



**140 000 composés mis à la vente en Suisse depuis 1969**

# A/ Grande problématique: Les polluants émergents: Classifications?



## Des FAMILLES

Chlorophénols

PCB

HAP

Résidus médicamenteux

Alkylphénols

Chloralcanes

Métaux lourds

Perturbateurs endocriniens

Phytosanitaires

Etc ...

## Des NOMS

### Cas des PCB

PCB 28

PCB 52

PCB 111

Pyralène

### Cas des HAP

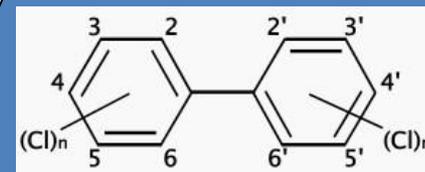
Benzo(a)pyrène

Fluoranthène

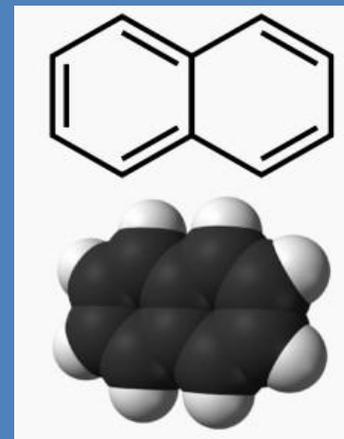
Naphtalène

## Des Molécules

### PCB



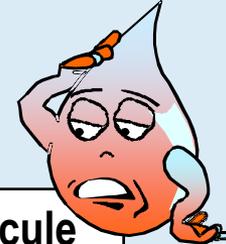
### Naphtalène (HA)



# A/ Grande problématique: Les polluants émergents: Classifications hétérogènes?

- Les **substances pharmaceutiques**: 20 à 30 molécules (*Antibiotiques, Analagésiques / Anti-inflammatoires, Liporégulateurs, Béta-bloquants, Anti-épileptiques*).
- Les **perturbateurs endocriniens** (PE): 10 à 15 molécules à effet important (*Hormones stéroïdiennes, alkylphénols*).
- Les **substances prioritaires**: 33(2001) → 45 (2013) substances ou groupes de substances dont certaines très toxiques (*Diuron, Chloroalcanes, Octylphénol*). Dont les substances prioritaires dangereuses (une vingtaine)

Famille	Sous-famille	Exemple de molécule
<b>Composés pharmaceutiques</b>	<b>Bétabloquant</b>	Oxprénol
		<b>Métoprolol</b>
		<b>Sotalol, ...</b>
	<b>Antibiotique</b>	<b>Sulfaméthoxazole</b>
		Roxithromycine
	<b>Antidépresseur</b>	<b>Carbamazépine</b>
		Diazepam
		Doxépine
	<b>Analgésique anti-inflammatoire</b>	<b>Ibuprofène</b>
		Paracétamol
		Aspirine
	<b>Hypolipémiant</b>	Gemfibrozil
	<b>Broncho-dilatateur</b>	Clenbuterol



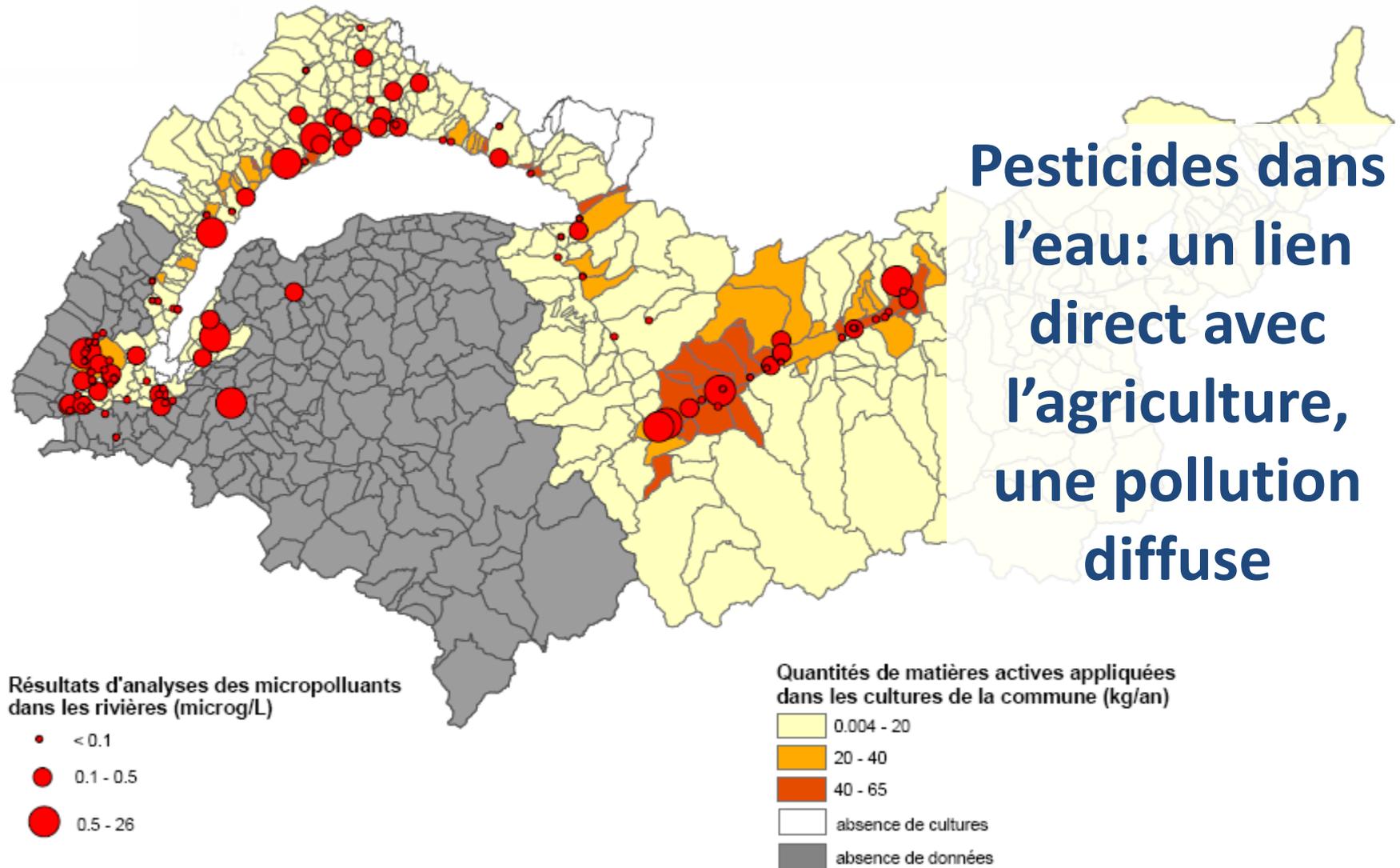
Famille	Sous-famille	Exemple de molécule
Alkylphénols		<b>Nonyl-phénol</b>
		Octyl-phénol
Chlorophénol		Pentachlorophénol
		Mono, di et trichlorophénols
Pesticides	Organoétain	Mono, di et tributylétain
	Organochloré	Alachlore
		DDT
	Organophosphorés	Chlorpyrifos
	Triazine	Atrazine, Simazine
	Urée	<b>Diuron, Isoproturon</b>
Hormones	Naturelle	Estradiol (E2), Estrone (E1)
	Synthétique	Ethinylestradiol
Polymères phénolés		Bisphényl A
Biocide		Triclosan



Famille	Sous-famille	Exemple de molécule
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)		Anthracène, Fluoranthène
		Benzo(a)pyrène
PolyChloroBiphényle (PCB)		Chlorobiphényle
		Di, tri et tétrachlorobiphényle
PBDE - Polybromodiphényléther		Penta, octa, déca, ... bromodiphényléther
COV		Benzène
		Dichlorométhane
		trichloréthylène
Métaux		Hg, Li, B, Ti, Cr, ...
Plastifiants		Tributylphosphates
		Bisphénol A
		Phtalates (DEHP)
Bioluminescent		Benzothiazoles
Nanoparticules		NTC, FeO, TiO <sub>2</sub> , Si, Al, Sb, Mn



# A/ Grande problématique: Les polluants émergents: Focus pesticide?

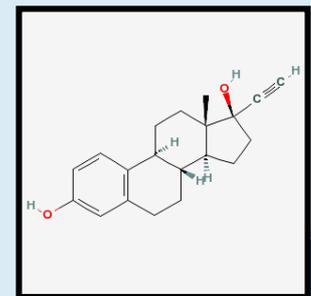


**Pesticides dans l'eau: un lien direct avec l'agriculture, une pollution diffuse**

**Lien : Cultures et micropolluants pour les pesticides**

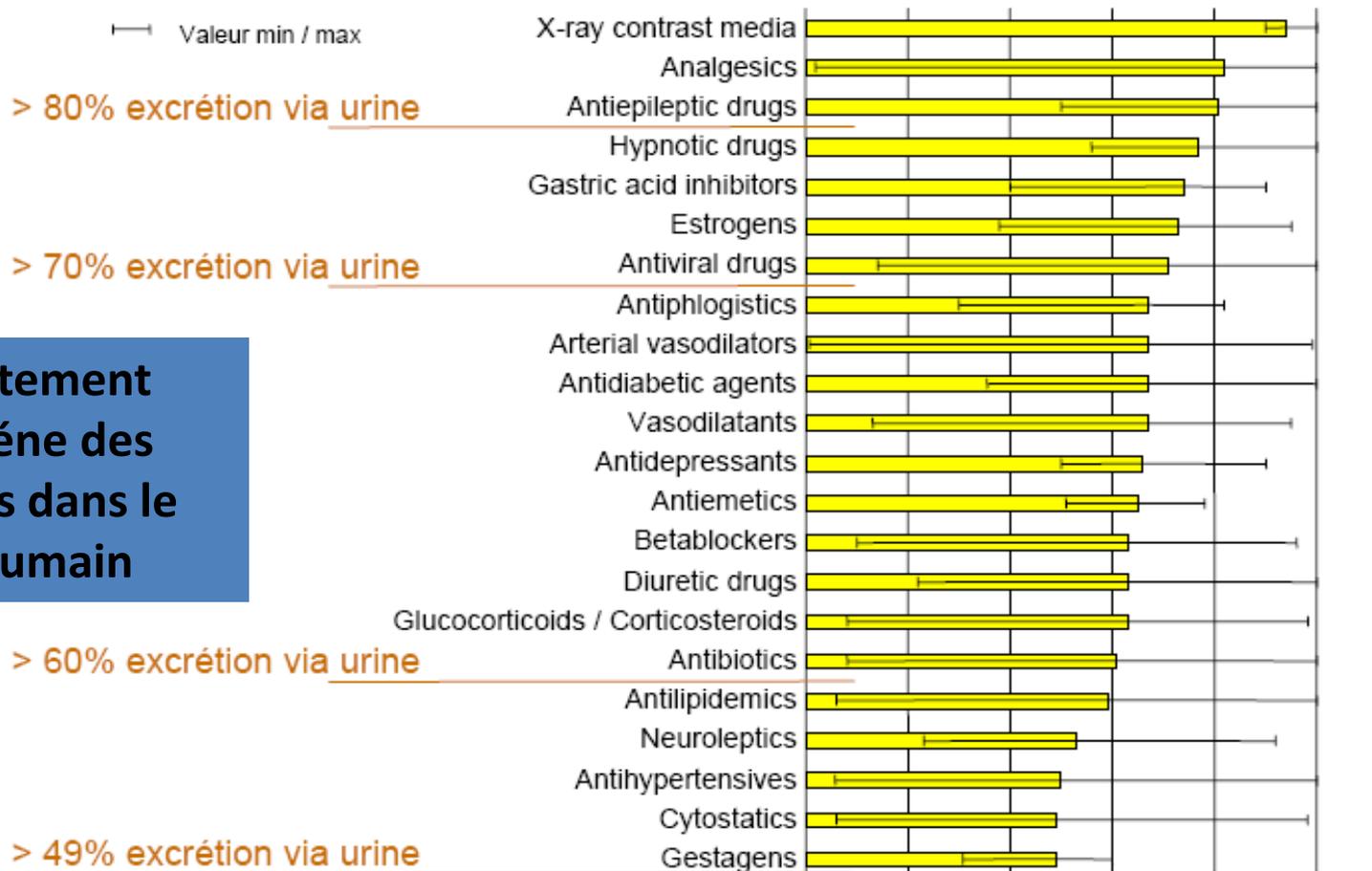
# A/ Grande problématique: Les polluants émergents: Focus pharmaceutiques?

- Employés dans divers médicaments.
- Plus de 4000 molécules.
- Formulés pour être solubles dans l'eau.
- Présence avérée dans l'environnement.
  - Rejet de l'industrie pharmaceutique
  - Pollution Diffuse



# A/ Grande problématique: Les polluants émergents: Focus provenance médicamenteux?

## Excrétion via l'urine de 22 groupes de médicaments

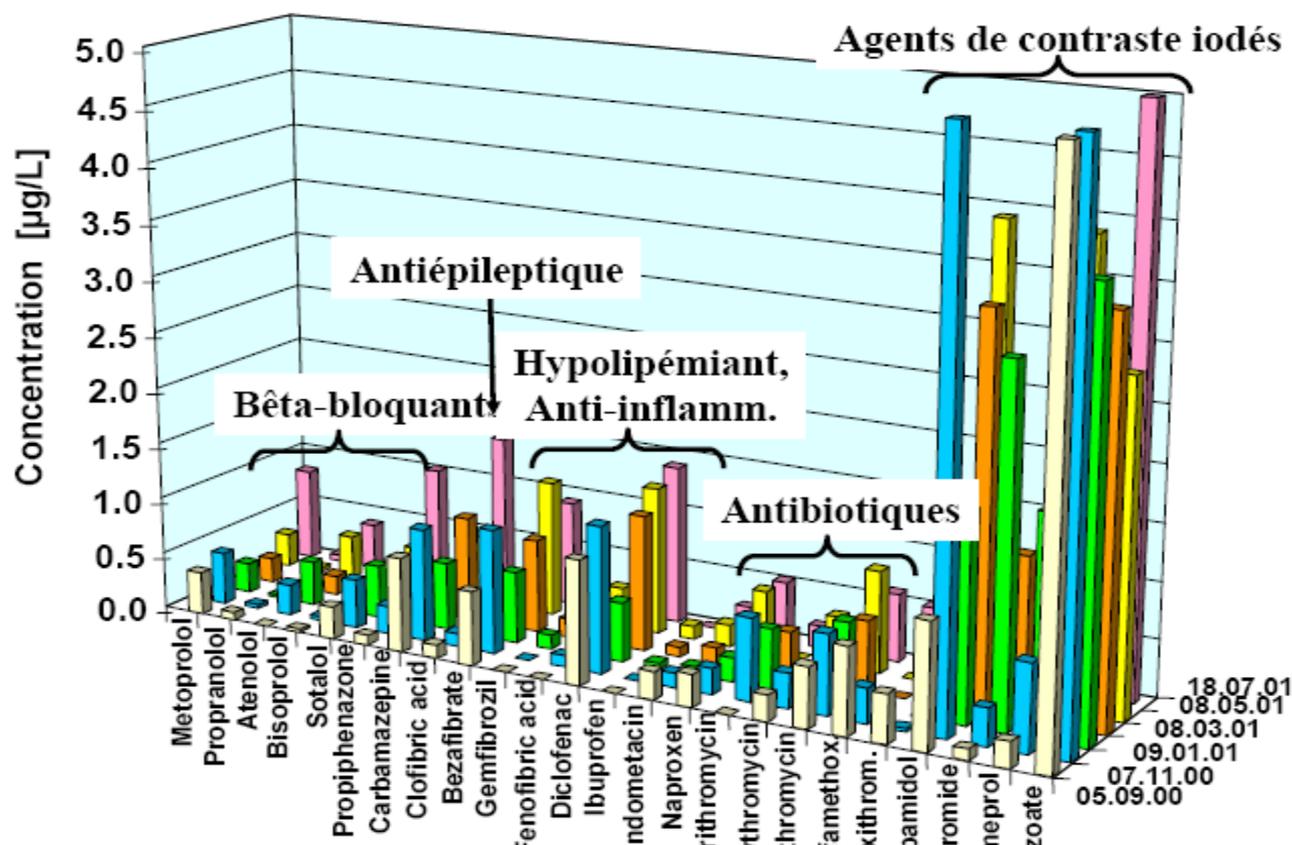


Comportement  
hétérogène des  
molécules dans le  
corps humain

Lienert et al. (2007) Screening method for ecotoxicological hazard assessment of 42 pharmaceuticals considering human metabolism and excretory routes, subm. to ES&T.

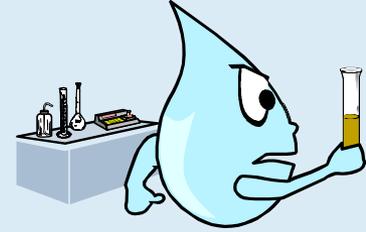
# A/ Grande problématique: Les polluants émergents: Focus médicamenteux?

## Pharmaceutiques dans les effluents



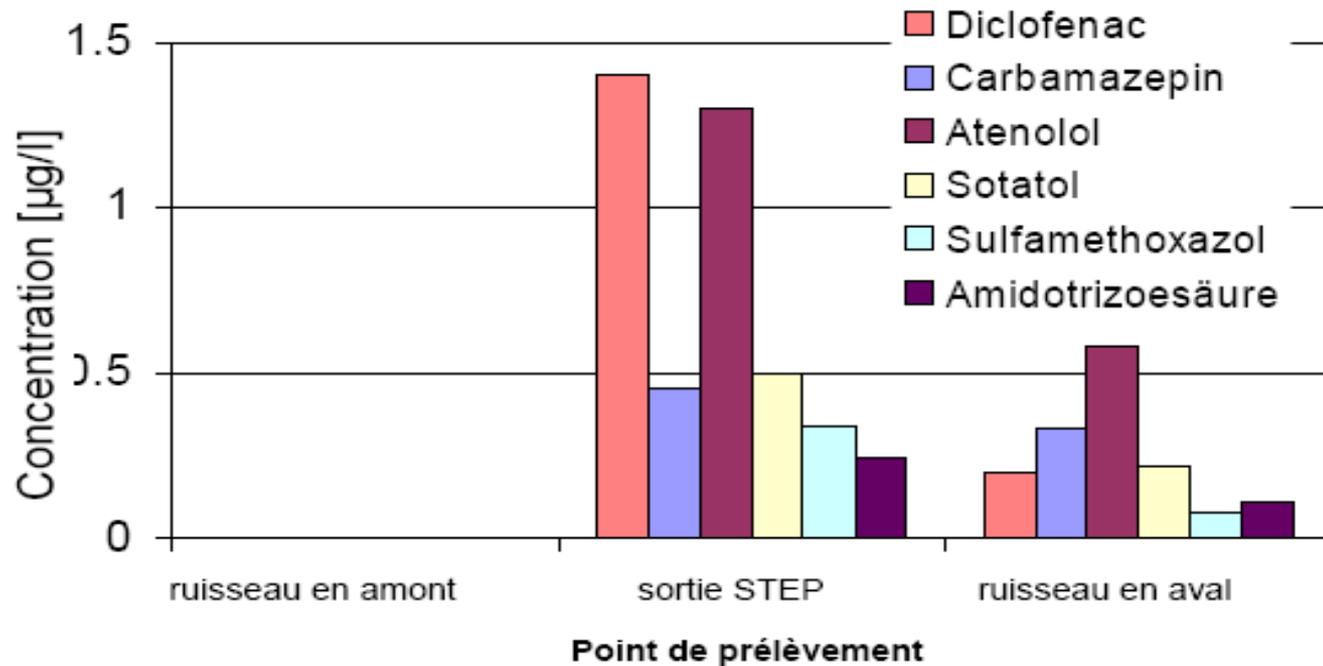
**Les effluents traités contiennent une multitude de micropolluants à des concentrations de l'ordre du  $\mu\text{g/l}$**

# A/ Grande problématique: Cas en Suisse?



## Contrôle des résultats: autres indicateurs

### STEP Wüeri à Regensdorf (ZH)



Somme des micropolluants (organiques) mesurés > 10 µg/l

# A/ Grande problématique:

## Les polluants émergents: Et les plastiques ou particules?

Une histoire de  
taille:  
Macro à nano  
particules

Micropolluants en  
tant que tels mais  
aussi vecteurs de  
substances

Bioaccumulation

**Une  
combinaison  
d'effets et de  
persistance  
très  
problématique**

Des provenances  
globalisées: produits  
commerciaux  
(ménagers, cosmétique,  
industriels, produits de  
dégradation mécanique  
etc..)

Toxicité chimique

Toxicité  
« biomécanique,  
biophysique »

# A/ Grande problématique: Les polluants émergents: Difficultés nouvelles?

## C'est complexe ... à connaître

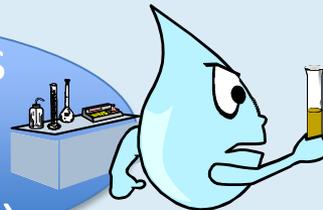
Un impact éco toxicologique, même à très faible dose  
Des molécules de complexation, combinaison,  
dégradation



## C'est couteux .....à analyser

Les limites de détection  
Des techniques lourdes de séparation, de réactions  
chimiques, de matériel CPG, Spectro de masse, couplage

Recours à des  
substances  
« indicateurs »

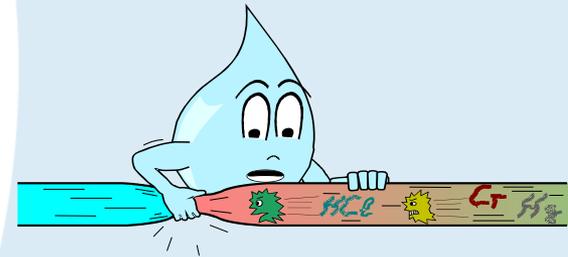


## C'est compliqué ...à traiter

Substances souvent solubles

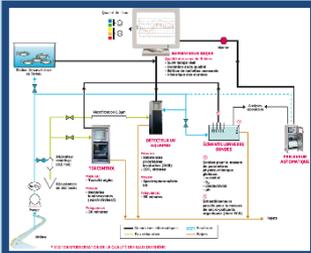
Degré de biodégradabilité variable, certains  
biodégradables, d'autres peu, voire pas  
biodégradables.

Sous produits?



# A/ Grande problématique: Les polluants émergents: Echelle du bassin nécessaire.

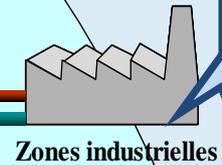
Surveillance du milieu



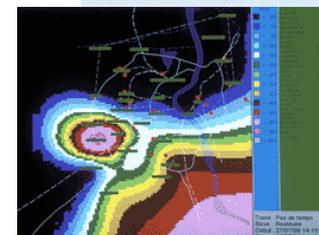
Amélioration des performances des stations d'épuration



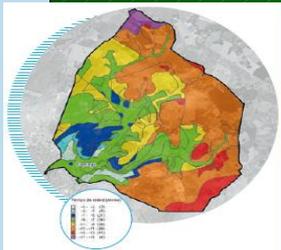
Réduction des rejets industriels



Gestion des eaux pluviales



Activités agricoles



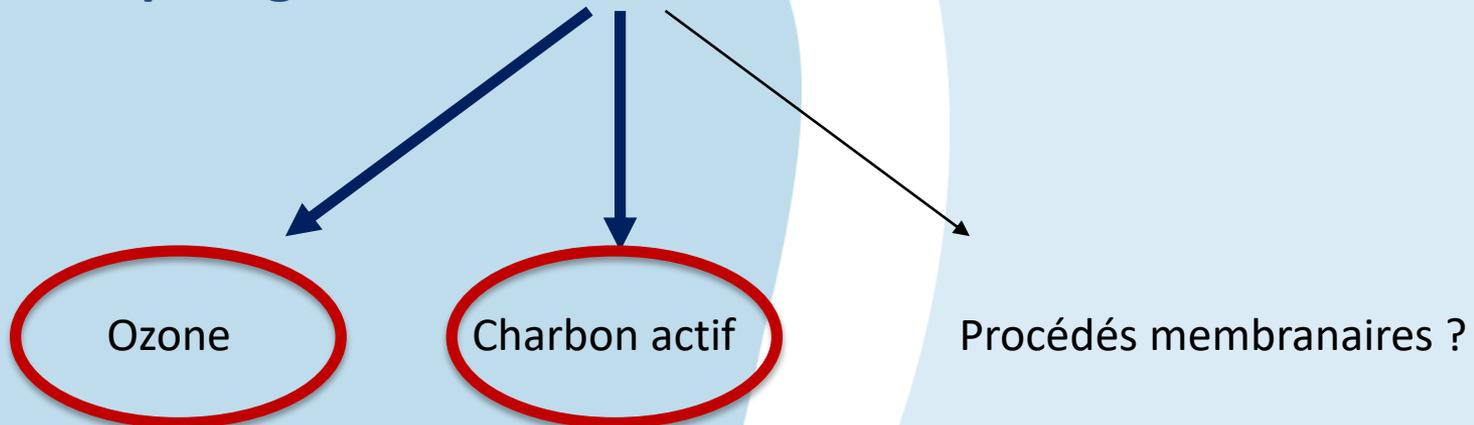
Zone de loisirs



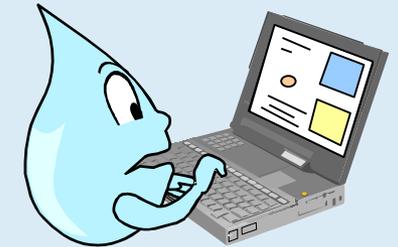
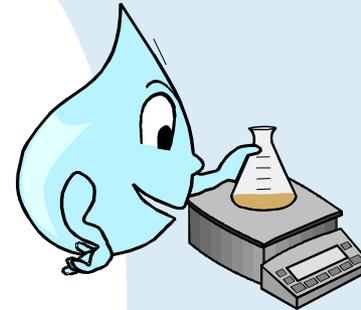
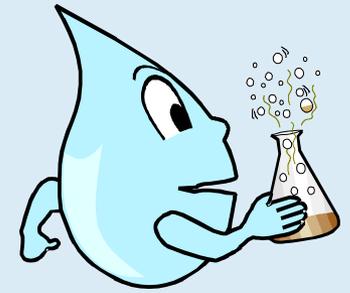
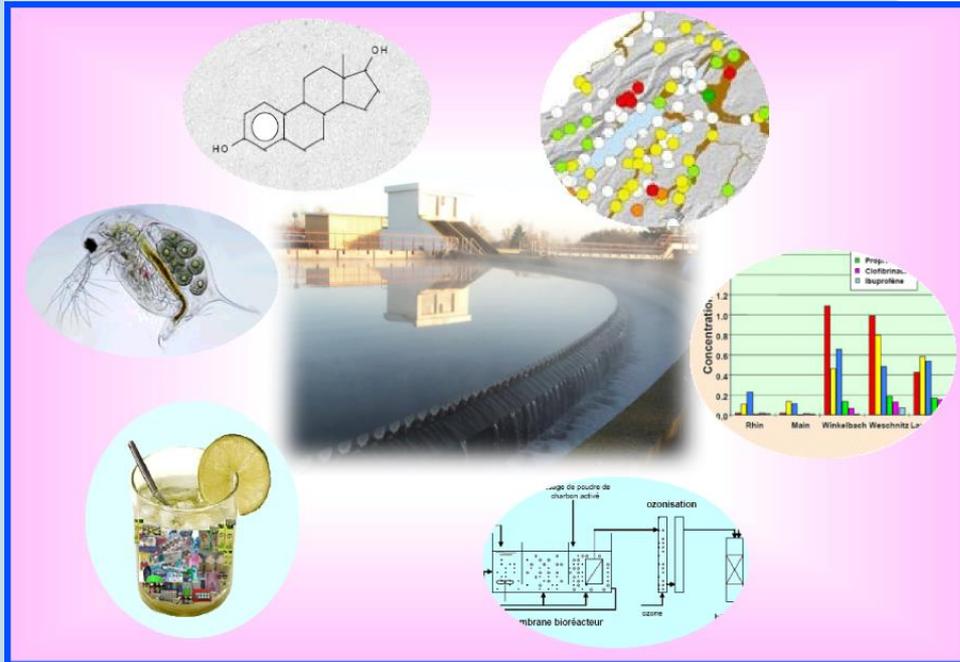
Réduction des pollutions diffuses

# A/ Grande problématique: Les polluants émergents: Stratégie de lutte en Suisse.

- 1-Identification et meilleure connaissance de la problématique
- 2-Renforcer la réduction à la source des micropolluants
- 3-Renforcement des efforts liés à l'éducation de la population
- 4-Renforcement de la politique de centralisation du traitement des eaux usées
- 5-Mise en place de traitements spécifiques sur les STEP les plus grandes.**



# B/ Les traitements actuels, leurs possibilités et efficacités



Attention: Beaucoup de contraintes de la chaîne analytique et du traitement des données

## B/ Les traitements actuels, leurs possibilités et efficacités



- Objectifs de la STEP conventionnelle
  - Elimination de paramètres globaux (DCO, azote, phosphore),
  - Respect de limites réglementaires,
  - Diminution de l'impact environnemental lié aux paramètres globaux (DBO5 etc).
- Problèmes posés par les polluants émergents
  - Faibles concentrations (taux de dilution) donc difficile à atteindre, par les micro-organismes (compétition)
  - Dégradabilité biologique faible (certains polluants),
  - Effets toxiques vis-à-vis des micro organismes épuratoires,
  - Continuellement émis dans l'environnement (diffus).

## B/ Les traitements actuels, leurs possibilités et efficacités

- Mécanismes d'élimination

- Principaux mécanismes impliqués dans l'élimination des polluants émergents.

- Mécanique,

- Physique,

- Chimique,

- Biologique,

- Thermique.

Traitement classiques  
« secondaires »  
biologique

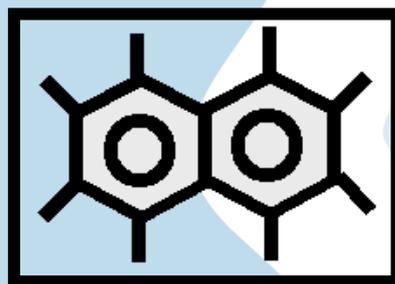
Tertiaire si filtration  
simple ou lamellaire

# B/ Les traitements actuels, Dégradation bio et stripping

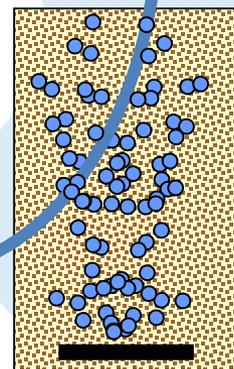
Stripping dépend de :

- Cte de Henry ( $H = P/C$ )
- Flux d'air

Substance



Stripping

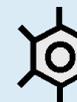


Système d'aération



$CO_2 + H_2O$

**ATTENTION aux Sous-produits**



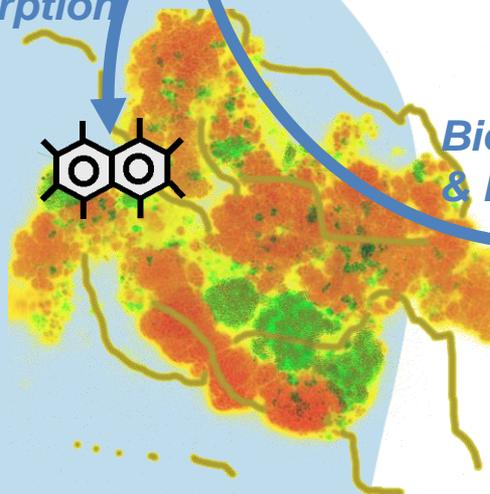
Adsorption



Adsorption dépend de :

- $Kd_{MES} = f(\text{Log } Kow)$
- Concentration en boues

Floc de boue



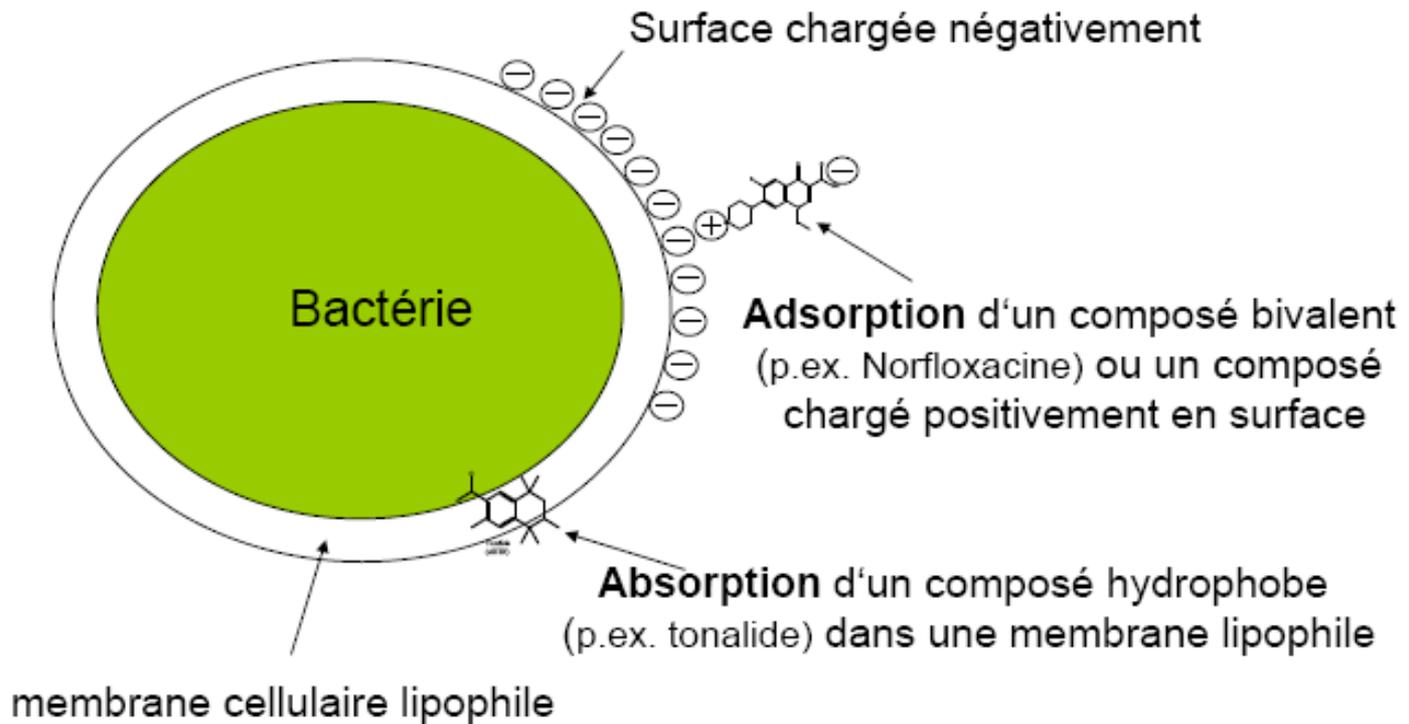
Biodégradation & Hydrolyse

Biodégradation dépend de :

- Cte biodégradation
- Concentration en boues

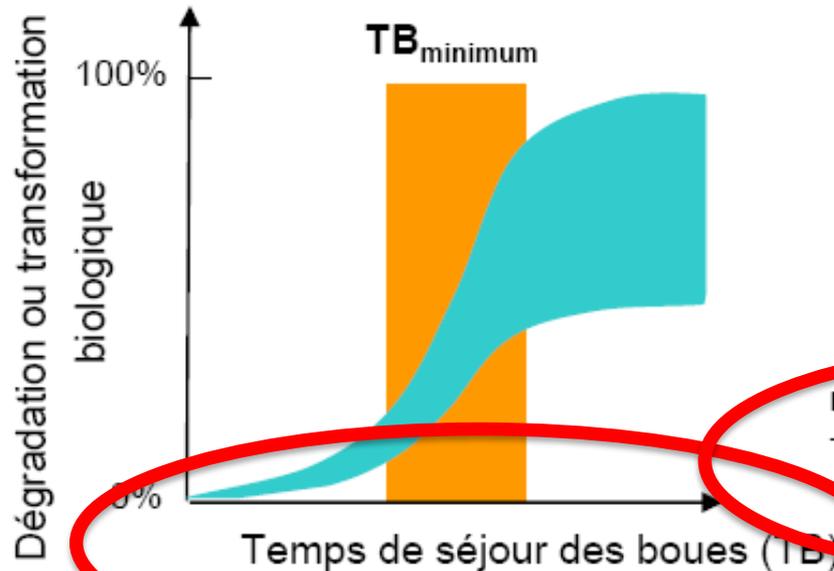
# B/ Les traitements actuels, Adsorption

## Sorption des micropolluants



# B/ Les traitements actuels, Dégradation bio

## Dégradation ou transformation biologique



dégradable à 15°C et  $TB_{\text{min}}$

2 - 5 jours	Bezafibrate Sulfamethoxazole Ibuprofène
5 - 15 jours	Ethinylestradiol Iopromide Roxithromycine

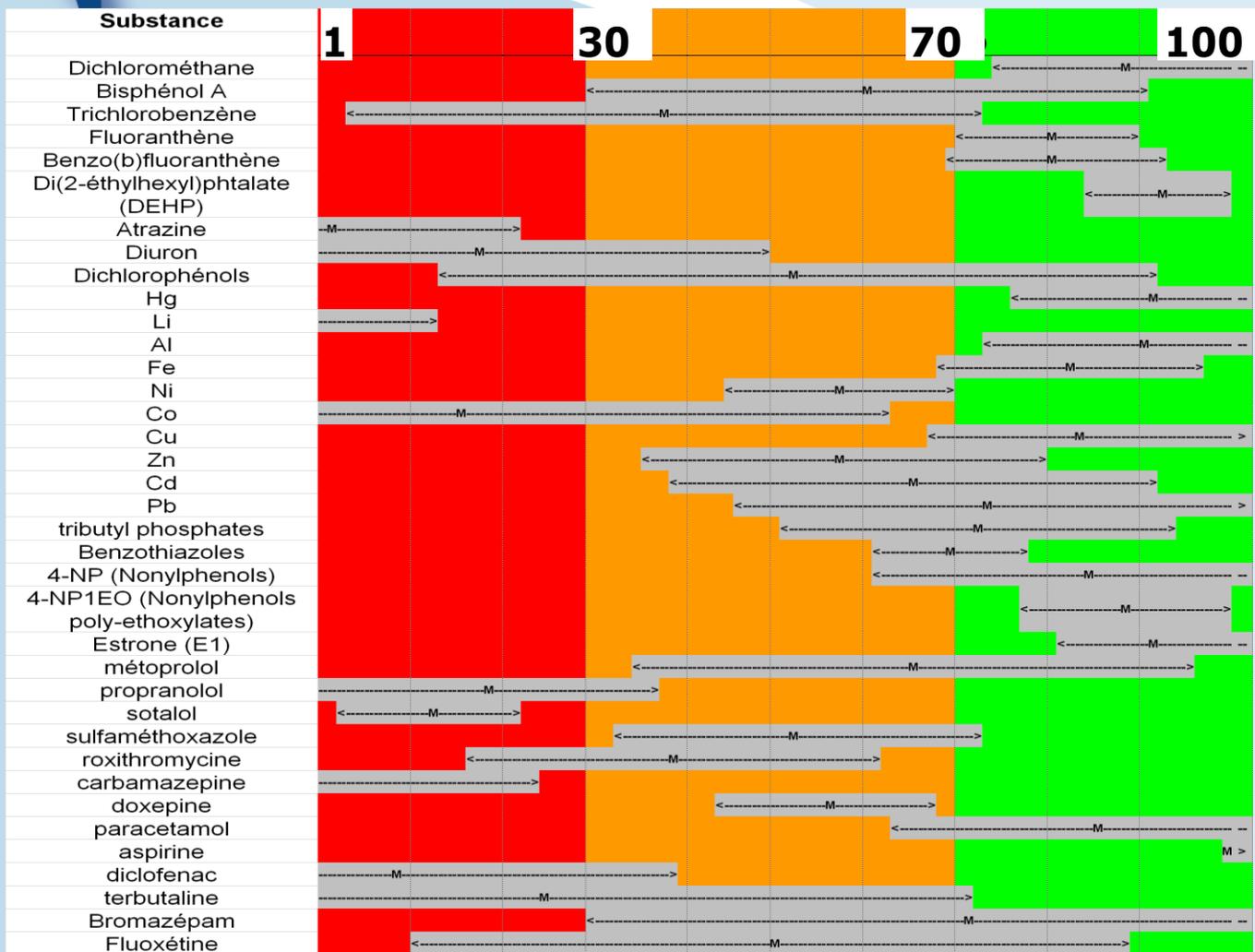
non dégradable

$TB < 20$ jours	Carbamazepine Diazepam
-----------------	---------------------------

Privilégier les âges de boues élevés car les cinétiques sont lentes

# B/ Les traitements actuels, résultats

## Rendement d'élimination



VARIABILITE DE L'EFFICACITE DU TRAITEMENT PAR BOUES ACTIVEES



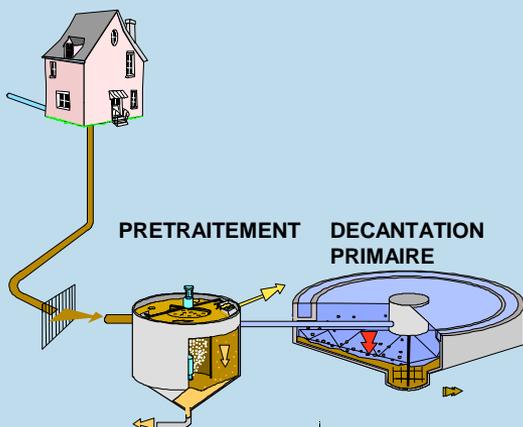
LE TRAITEMENT COMPLEMENTAIRE EST UNE NECESSITE

Gammes de rendement préférées à rendements exacts

# B/ Les traitements actuels, résultats

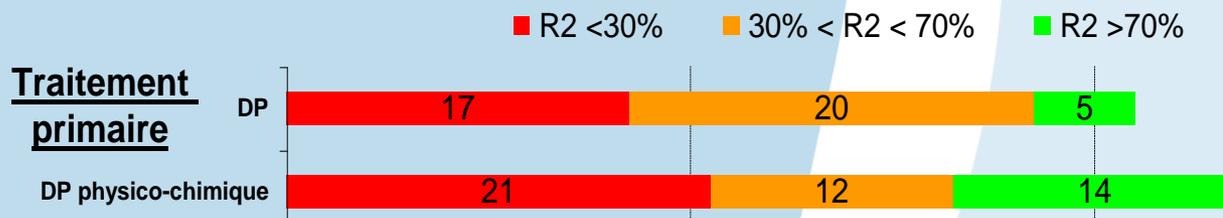
## EFFICACITE TRAITEMENT PRIMAIRE / PHYSICO CHIMIQUE

Efficaces pour substances très adsorbables  
(ex : PBDEs, chloroalcanes, HAP "lourds")



Décantation primaire efficace :

- 10% des substances éliminées à plus de 70%
- Pas d'amélioration claire par ajout de réactif physico-chimique
- Rendement environ 30% inférieur à traitement biologique (changement de gamme)



## B/ Les traitements actuels, résultats

Impact des charges massique et filière choisie (décantation primaire ou non)

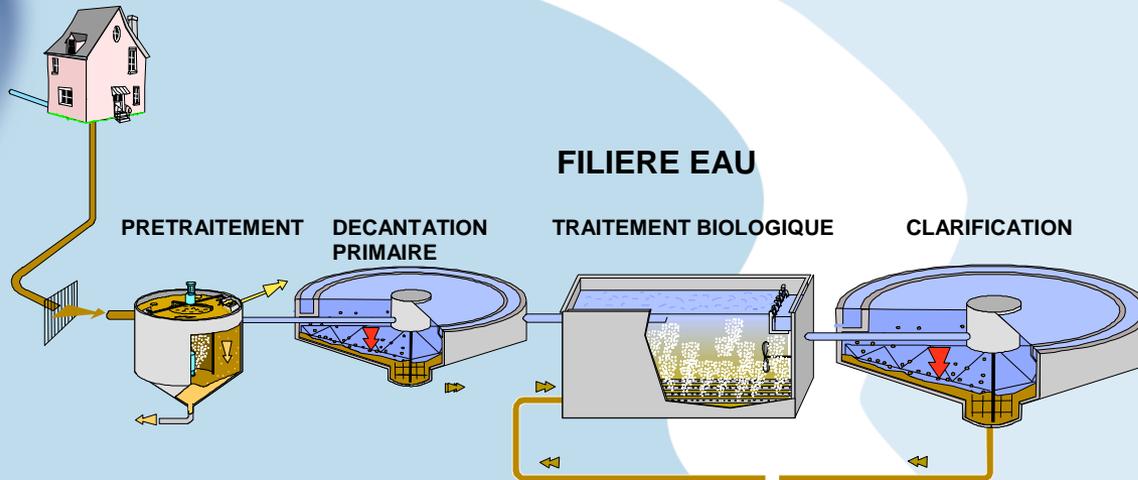
Famille	Composé	Dec primaire + BA forte charge (1 station)	Dec primaire + BA faible charge (1 station)	BA aération prolongée (5 stations)
COV	Dichloromethane	30	98	83 ± 15
PBDE	Decabromodiphenylether	71	-	68 (1 valeur)
HAP	Fluoranthene	28	75	81 ± 8
Phtalate	DEHP	75	96	91 ± 8
Polymère phénolé	Bisphenol A	-	81	39 (1 valeur)
Aromatique	Benzothiazole	3	78	67 ± 8
Pesticide	Diuron	36	< 0	25 ± 29
Pesticide	Glyphosate	< 0	-	< 0
Chlorophénol	Dichlorophenols	7	97	42 ± 35
Hormone	Estrone	< 0	99	89 ± 11
Pharmaceutique	sulfamethoxazole	< 0	57	52 ± 22
Pharmaceutique	propranolol	< 0	29	16 ± 20
Pharmaceutique	paracétamol	< 0	94	83 ± 24
Métal	zinc	86	82	53 ± 21
Métal	plomb	80	96	69 ± 28

Et la température ?

Rendement élimination < 30 % ■  
 Rendement élimination 30 à 70 % ■  
 Rendement élimination > 70 % ■

- Impact significatif de charge massique et âge de boues.
- Adsorption sur floccs à fort âge de boues semble aussi efficace que décantation primaire.

## B/ Les traitements actuels, résultats



**EFFICACITE  
TRAITEMENT  
BOUES  
ACTIVEES  
CLASSIQUE**

**Exemples de molécules bien éliminées en STEP biologique:**

- **Adsorbables (captées par les boues) : DEHP (plastifiant), fluoranthène (hydrocarbure aromatique), métaux.**
- **Elimination par biodégradation : aspirine, ibuprofène, paracétamol (pharmas), hormones oestrogéniques**
- **Volatiles : dichlorométhane (solvant chimique)**

## B/ Les traitements actuels, résultats

- **Les STEP conventionnelles éliminent déjà une bonne partie du flux de micro-polluants de l'eau usée :**
  - Rendements élimination > 70% par procédés biologiques pour environ 50% des substances.
  - Rendements procédés biologiques environ 30% supérieurs aux rendements physico-chimiques.
  - Seulement 10% des composés étudiés avec rendements biologiques < 50%
  - .
- **Les stratégies de surveillance et les traitements avancés à appliquer peuvent être mieux ciblés pour les substances à forte occurrence dans l'eau traitée (environ 40% des substances prioritaires) :**
  - Soit faiblement éliminées (15%).
  - Soit bien éliminées mais à forte concentration en entrée (25%).

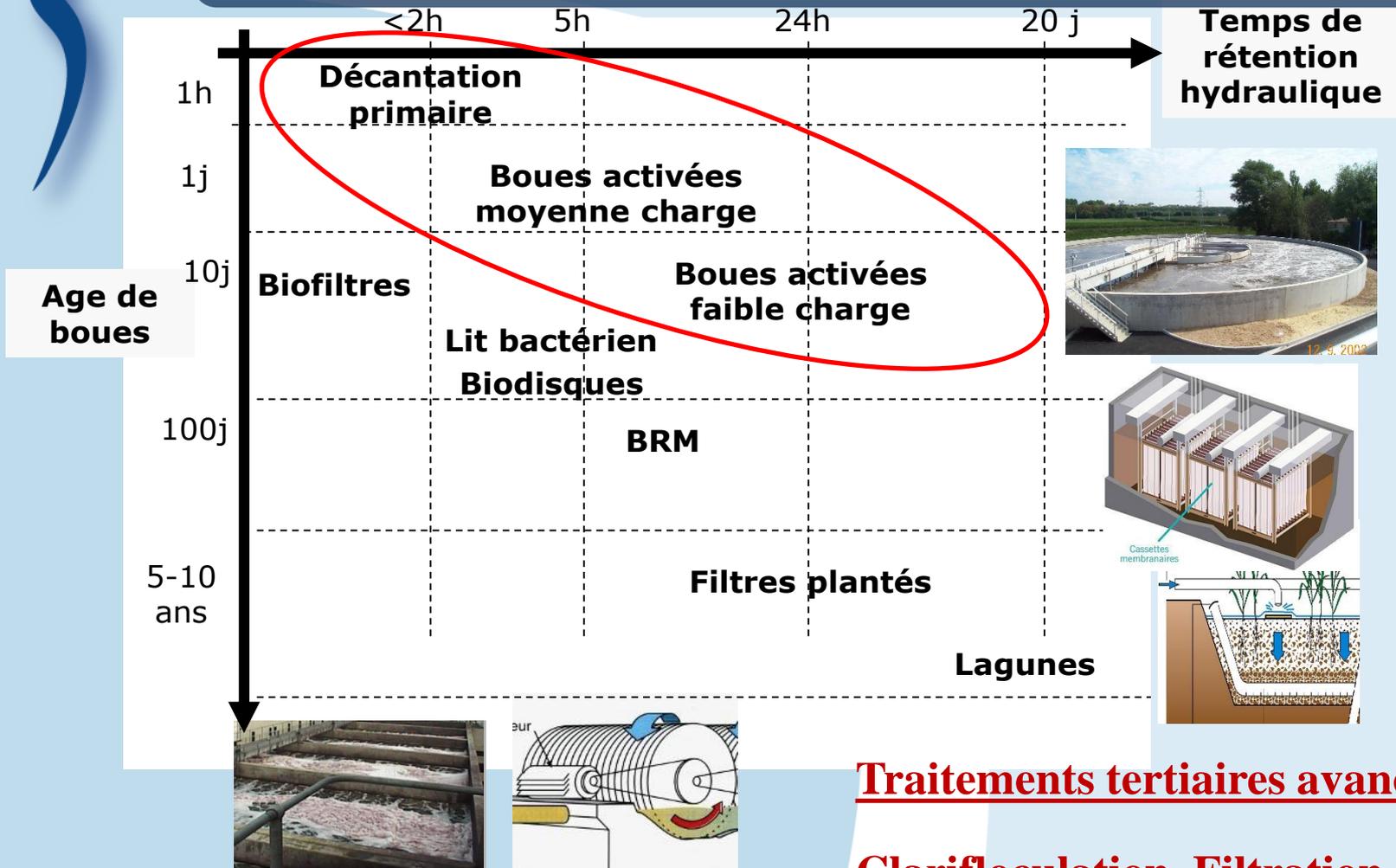
## B/ Les traitements actuels, incomplets et sensibles aux contraintes nouvelles



- Les micropolluants sont éliminés dans les step essentiellement par sorption, volatilisation et dégradation.
- L'élimination de nombreux polluants en traces est insuffisante même avec un long temps de séjour des boues.
- Il y a également des pertes dans les eaux de surface dues à la combinaison des déversoirs d'orage (1-4%) et de l'exfiltration des égouts (3-10%) dans les eaux souterraines.
- Une combinaison d'un **contrôle à la source** et de mesures **en fin de chaîne (end of pipe)** sont nécessaires dans les cas critiques (faible dilution des eaux usées dans les eaux du milieu récepteur, infiltration importante dans les eaux souterraines et réutilisation des eaux usées traitées).

Source : Siegrist, EAWAG, 2007

# B/ Les traitements actuels, le classement et les traitements complémentaires



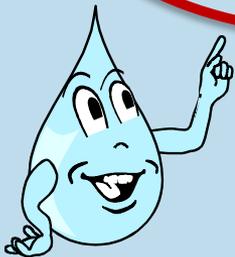
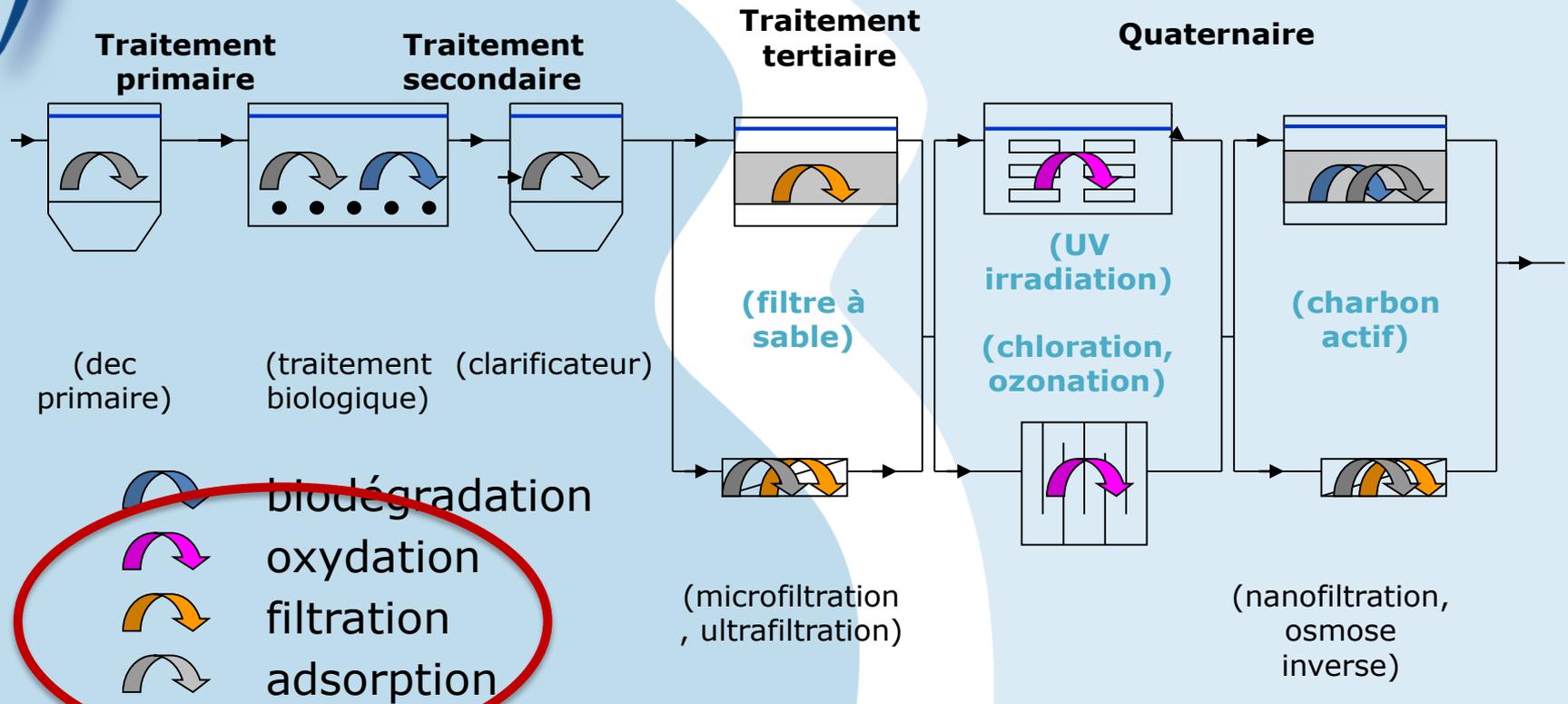
## Traitements de boues

Digestion anaérobie, Séchage, Compostage, Chaulage, Lits plantés de roseaux

## Traitements tertiaires avancés

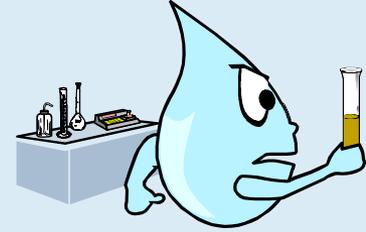
Clarifloculation, Filtration sur sable, Oxydation UV, Osmose inverse, Ozonation, Charbon actif.

# B/ L'apport des traitements tertiaires et quaternaires



**+ Stripping**

## B/ L'apport des traitements tertiaires et quaternaires, le choix en Suisse



### Solutions techniques

#### *physico-chimiques*

- **charbon actif en poudre**
- charbon actif en granulés

#### *physiques*

- floculation
- précipitation
- échange d'ions
- filtration sur membrane
- filtration sur sable

#### Élimination ultérieure d'éléments-trace

#### *oxydation chimique*

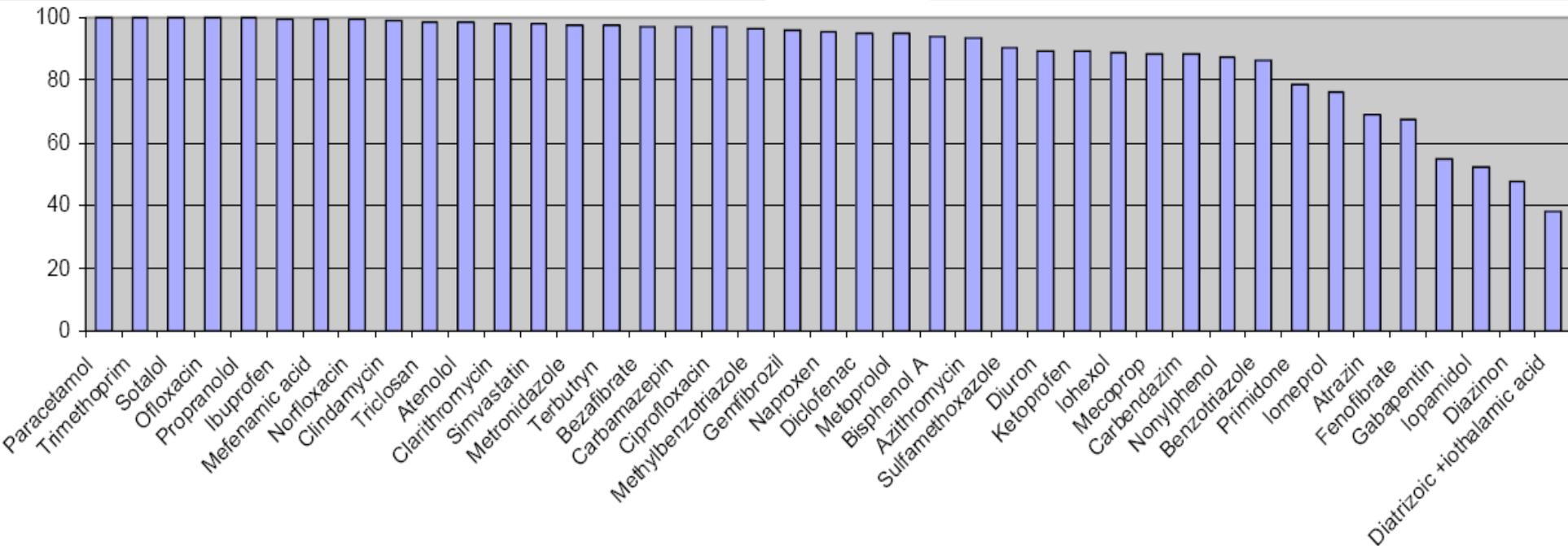
- chloration
- UV
- H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> / UV
- réactif de Fenton
- **ozonisation**

#### *(physico-) biologiques*

- filtration sur sable
- lit fixe / lit fluidisé
- passage dans le sol
- étang

## B/ L'apport des traitements tertiaires et quaternaires, le choix en Suisse : Filières validées suite au projet Stratégie-Micropol

### Les filières ozone + Filtration sur sable ...



## B/ L'apport des traitements tertiaires et quaternaires, le choix en Suisse : Filières validées suite au projet Stratégie-Micropol

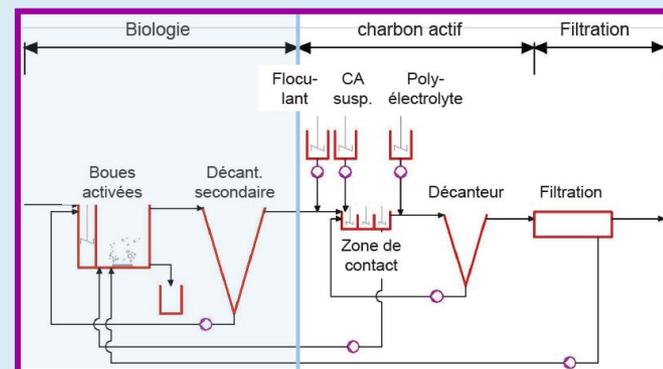
### Les filières ozone + Filtration sur sable ...

- **3 - 10 g/m<sup>3</sup> Ozone** : > 90% oxydation des médicaments
- Dépend de la présence de MO
- Faible emprise au sol
- Consommation d'énergie importante : **0,1 - 0,3 kWh/m<sup>3</sup>**
- Pas d'influence des MES ?
- Désinfecte (élimination de la résistance aux antibiotiques et aux germes pathogènes)
- Sous produits : Meilleure caractérisation exigée, **post traitement biologique**

## B/ L'apport des traitements tertiaires et quaternaires, le choix en Suisse : Filières validées suite au projet Stratégie-Micropol

### Traitement par le CAP

- **10 – 20 g/m<sup>3</sup> Charbon Actif** : 60 à 90% d'élimination des médicaments
- Dépend de la présence de MO (DCO)
- Emprise au sol plus grande
- Coûts d'investissement et de fonctionnement importants (CA, Floculant 5 -10%, augmentation des boues, réacteur, décanteur, filtre)
- Réduction des propriétés oestrogéniques d'environ 80%
- **Pas de Sous produits**



## B/ L'apport des traitements tertiaires et quaternaires, le choix en Suisse : Filières validées suite au projet Stratégie-Micropol

### COÛTS DES TRAITEMENTS COMPLÉMENTAIRES

	Energie kWh m <sup>-3</sup>	Coûts € m <sup>-3</sup>	Sous-produits
Étude pilote			
Ozonisation (avec postfiltration)	0.1 – 0.2	0.05 – 0.15	Toxicologie inconnue
Charbon actif	<< 0.05	0.08 – 0.20	Aucun
Littérature, échelle labo			
O.I. désalinisation 50 bar	3 – 5	0.2 – 0.3	Jusqu'à 50% de concentré
O.I./N.F. eau saumâtre 5 – 30 bar	1.5 – 5	0.1 – 0.25	Combien de concentré?

## B/ L'apport des traitements tertiaires et quaternaires, le choix en Suisse : Filières validées suite au projet Stratégie-Micropol

### Effets secondaires CAP ou Ozonation ???

	CAP	Ozonation
Action sur les substances organiques	<b>Très bonne</b> Quelques substances sont moins bien éliminées.	<b>Très bonne</b> Quelques substances sont moins bien éliminées.
Sous-produits	Génère une augmentation du volume des boues, élément à prendre en compte dans l'élimination de ces dernières.	Formation de sous-produits de pour la plupart inconnus, mais aucun effet indésirable selon les analyses écotoxicologiques. En faible quantité, formation de bromate et de nitrosamines.
Mise en application	Simple à intégrer dans les STEPs actuelles. Plusieurs concepts possibles (séparation et recyclage). Attention aux phénomènes d'abrasion.	Simple à intégrer dans les STEPs actuelles. Attention aux choix des matériaux vis-à-vis de l'ozone et des dangers liés à ce gaz (règles de sécurité).



Fin de la première partie

# C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire.

## Impacts des dysfonctionnements les plus courants

### Défaut de conception et de consignes

- Phase et quantité Oxygénation, extraction recirculation
- Temps de séjour, Age de boue

### Défaut hydraulique et biologique

- Dégazage sauvage
- Dérive de la floculation, filamenteuses

Pollutions dissoutes non dégradées ,  
rendements sur les solubles faibles  
Problèmes de nitrification dénitrification

Départs de fines et de MES du  
secondaire

**Rendement micropolluants  
faibles**

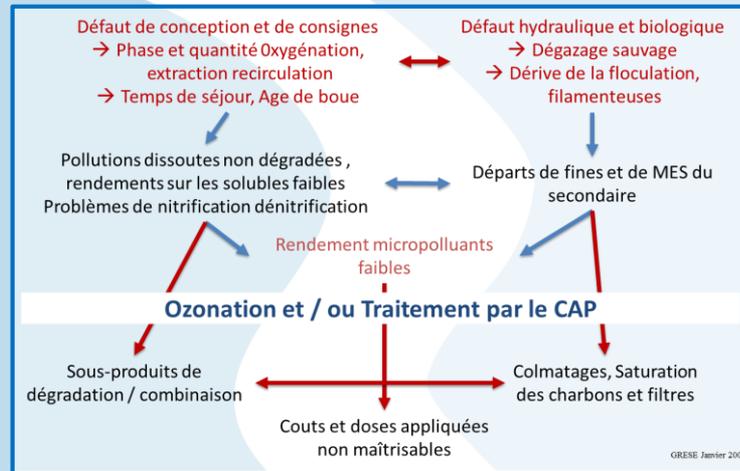
**Ozonation et / ou Traitement par le CAP**

**Sous-produits** de  
dégradation / combinaison

**Coûts et doses** appliquées  
non maîtrisables

**Désorption**, Colmatages  
, Saturation des  
charbons et filtres

# C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. Impacts des dysfonctionnements les plus courants



**CONCEPTION FIABLE  
et REGULATION  
NECESSAIRE sur le  
SECONDAIRE**

**Les MES en SORTIE du  
secondaire ont un  
impact et sont un  
indicateur ESSENTIEL**

Les traitements de détoxification  
tertiaires et quaternaires **NE DOIVENT  
PAS ETRE CONSIDERES COMME UNE  
SECURISATION DU SECONDAIRE**

**ILS ONT LEUR PROPRES TECHNICITES ET  
PROBLEMES**

## C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. Impacts des dysfonctionnements : les MES en indicateur

### ➤ Importance du critère 'MES' sur l'eau clarifiée

#### – Fuites de MES = fuites de bactéries

- Avec tout ce qu'elles ont avalé (assimilation)
- Avec tout ce qu'elles ont collé (particules – PO4 -...)

#### – Fuite de MES = fuite de matière organique et de micropolluants

$$- \text{DCO}_{\text{ET}} = \text{DCO}_{\text{DISSOUE}} + \text{DCO}_{\text{MES}}$$

#### – Fuite de MES = fuite d'azote

$$- \text{N}_{\text{TOTAL}} = \text{N}_{\text{ORGA SOLUBLE}} + \text{N}_{\text{MES}} + \text{NNH}_4 + \text{NNO}_2 + \text{NNO}_3$$

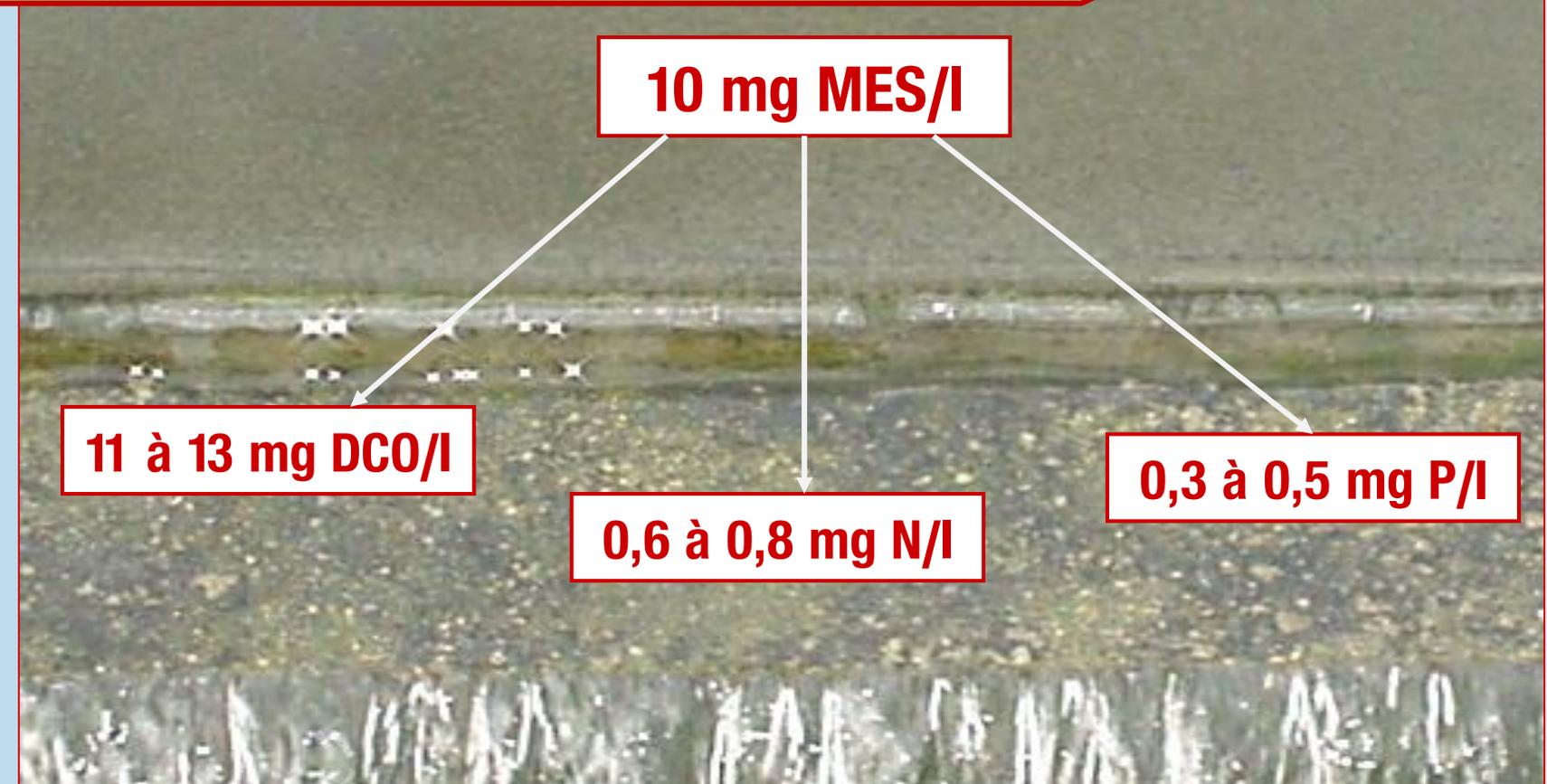
#### – Fuite de MES = fuite de phosphore

$$- \text{P}_{\text{TOTAL}} = \text{PPO}_4 + \text{P}_{\text{MES}}$$

- Conséquence : fuite de boue ► non-conformité immédiate

**C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire.  
Impacts des dysfonctionnements biologique : les MES en indicateur**

**Exemple de traitement boues activées  
avec fuites de MES sur le clarificateur**



## C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. Impacts des dysfonctionnements : la biologie

### ➤ Efficacité du traitement = bonne 'santé' des bactéries

#### – Empêcher les causes de mortalité bactérienne :

- Empoisonnement par toxiques (réseau assainissement)
- Asphyxie de la biomasse (contexte de pannes ?)
- Mise à la diète trop prolongée de la biomasse :
  - » Step avec forte variation de pollution
  - » Sites industriels : fonctionnement saisonnier

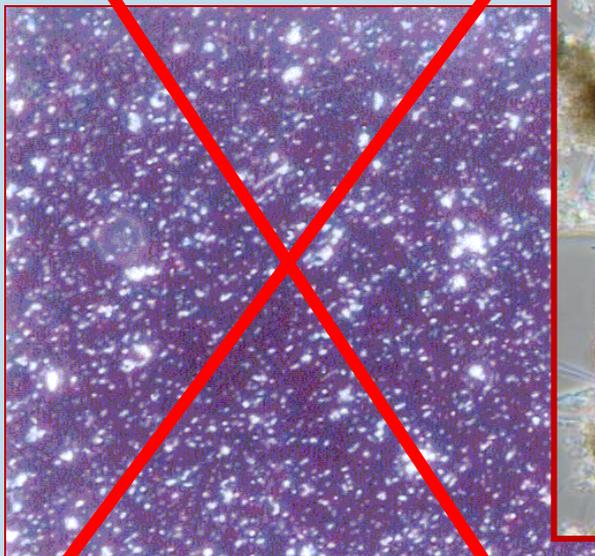
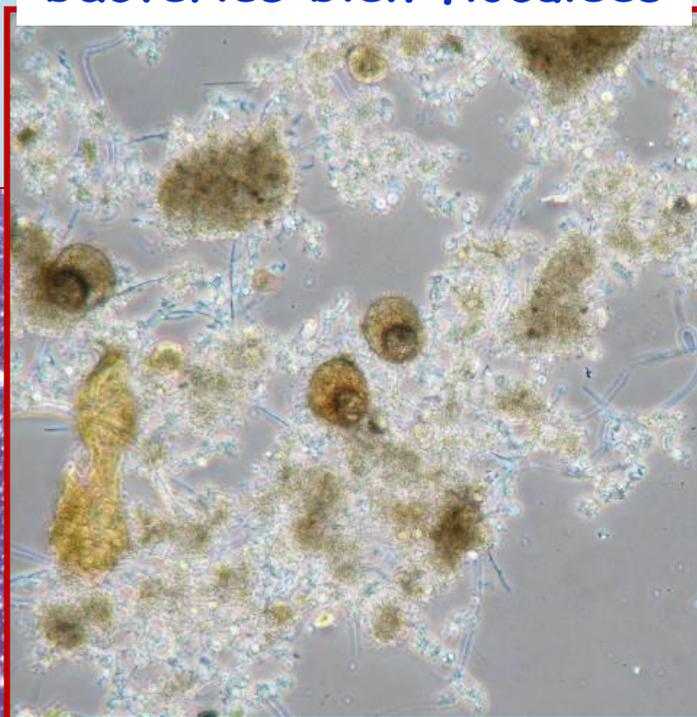
#### – Conséquences de la mortalité bactérienne :

- effets immédiats :
  - Défloculation partielle ou totale : fuites MES en sortie
  - Relargage d'éléments dissous (DCO –  $\text{NH}_4$  –  $\text{PO}_4$  - détergents)
- effets prolongés (le temps de refaire la biomasse) :
  - Nitrification perturbée – rejet eau trouble - moussage

# C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. Impacts des dysfonctionnements : biologiques

## La fiabilité biologique = croissance floculée

bactéries bien floculées



bactéries libres



bactéries filamenteuses

démarrage

Mortalité bactérienne

réglages

Nature EU

Conception BA

## C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. Impacts des dysfonctionnements : mécaniques

- La fiabilité mécanique = un prérequis obligatoire
  - Dès la conception du traitement biologique :
    - Sécurisation alimentation en énergie
    - Secours des équipements essentiels
    - télésurveillance
  - Lors de la gestion du traitement :
    - Maintenance préventive efficace
    - Service d'astreinte (« piquet »)
- « Une petite panne d'aération de la biologie ...  
et c'est peut-être **plusieurs journées de galère sur le clarificateur** »

## C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. Impacts des dysfonctionnements : Hydrauliques

- La fiabilité hydraulique = éviter aléas lors des débits de pointe
  - Débit maxi ► Va maxi sur décanteur
    - Sur clarificateur :
      - Risque accru de fuites de boue
      - Contraintes d'exploitation : maîtrise de  $I_B$  et  $MES_{BA}$
    - Sur décanteur primaire :
      - Rendement en baisse
      - Contraintes de colmatage et/ou d'oxygénation
  - Débit maxi ► Tséjour mini dans réacteur bio.
    - Réactions biologiques = incomplètes
    - Défaut de nitrification avec fuites  $NH_4$  et  $NO_2$

# C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. Focus sur les fuites de MES et les difficultés de décantation

## problèmes de décantation : contexte général



Foisonnement filamentueux ?

Déflocculation ?

Mousses biologiques ?



Croissance dispersée ?  
Problèmes d'hydraulique ?

Fermentation ?

Dénitrification sauvage ?



# C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. Focus sur les fuites de MES et les difficultés de décantation

## Classification des problèmes de décantation

### ■ Difficultés liées à la floculation :

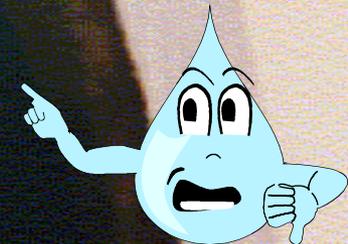
Croissance dispersée  
Défloculation  
Floc organique peu dense

### ■ Difficultés liées à la densité apparente des boues :

Fermentation des boues  
Dénitrification  
Mousses stables

### ■ Difficultés liées à la faible compacité des boues :

Expansion anormale du lit de boue  
Foisonnement



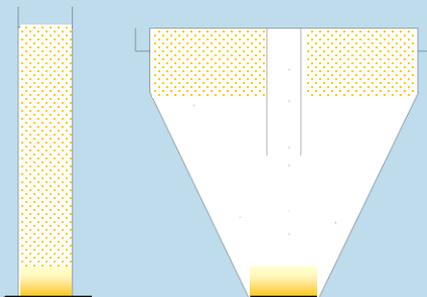
# C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. Focus sur les fuites de MES et les difficultés de décantation

## TYPOLOGIE DES DIFFICULTES DE DECANTATION

### Difficultés liées à la floculation : Croissance dispersée

#### Critères visuels :

- Mousse légèrement blanchâtre (surface) du ba principalement
- Boue de couleur claire
- Effluent de sortie turbide ( $[DBO_5]_{ET} \uparrow$ )
  
- Décantation en éprouvette difficile (interface eau-boue mal définie, particules en suspension non décantable)
  
- Microfaune composée de bactéries libres associées ou non à des protozoaires flagellés



#### Nature des difficultés :

- Boues jeunes, croissance bactérienne dispersée (floc non formé)

#### Origine probable :

- Station en phase de démarrage
- Redémarrage après lessivage ou intoxication
- arrêt de la recirculation (désamorçage des siphons ou suceurs)

#### Solution envisageable :

- Accroître l'âge de la boue

(La situation devrait se normaliser rapidement  
-1 à 2 semaines-)

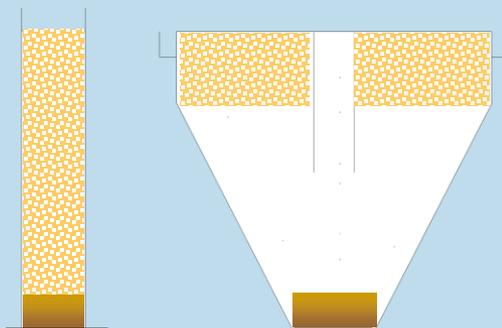
# C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. Focus sur les fuites de MES et les difficultés de décantation

## TYPOLOGIE DES DIFFICULTES DE DECANTATION

### Difficultés liées à la floculation : Défloculation

#### Critères visuels :

- Rejet de fines particules en surverse du décanteur
- Médiocre qualité de l'eau épurée
- Test de décantation difficile montrant un gradient de concentration en particules dans l'éprouvette
- Microfaune rare



#### Origine probable :

- **Apports d'effluents toxiques, acidification du milieu (démarrage nitrification), apport important de NaCl**
- **conditions extrêmes de charge massique**

#### Solutions envisageables :

- **Rechercher et supprimer les apports de toxiques dans le cas de phénomènes cycliques**
- **En cas d'arrivée accidentelle de toxiques retirer le polluant si possible, remettre en service, espacer le sous-tirage des boues jusqu'à retour à la normale**

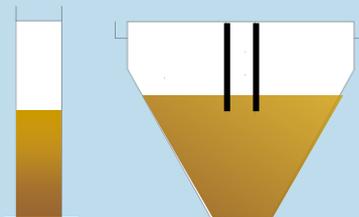
# C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. Focus sur les fuites de MES et les difficultés de décantation

## TYPOLOGIE DES DIFFICULTES DE DECANTATION

### Difficultés liées à la floculation : Floc organique peu dense

#### Critères visuels :

- Boue de couleur claire ([mes] < 2 à 3 g/l)
- Perte de fines particules en sortie du décanteur (formation de nuages clairs)
- Voile de boue souvent diffus et mal déterminé
- Test de décantation : particules de floc en suspension dans le surnageant
- Microfaune normale, structure des floccs lâche, grains aux contours mal définis, de taille hétérogène
- Test de décantation difficile montrant un gradient de concentration



#### Origine probable :

- Traitement d'effluents industriels peu concentrés en MES.
- STEP équipées d'une décantation primaire et avec  $C_m$  élevée ( $C_m > 0,5 \text{ kg DBO}_5/\text{kg MVS/j}$ )

#### Solutions envisageables :

- Lestage des floccs (ajouts de chaux, talc, cendres)
- Modification des conditions d'alimentation : By-pass partiel du décanteur primaire, apport de MeS minérales dans la boue.

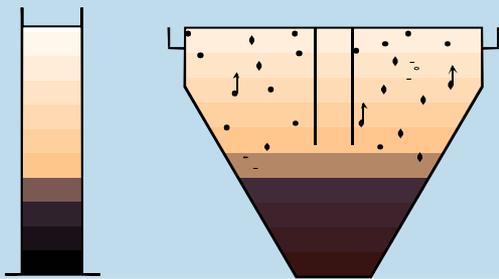
# C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. Focus sur les fuites de MES et les difficultés de décantation

## TYPOLOGIE DES DIFFICULTES DE DECANTATION

### Difficultés liées à la floculation : Fermentation des boues

#### Critères visuels :

- Remontées en surface de décanteur d'amas de boues :
  - Couleur noirâtre
  - Malodorantes (H<sub>2</sub>S)
- Présence d'une forte densité de bulles de taille variable qui diminuent la densité apparente de la boue
- Surnageant trouble et souvent coloré (faible valeur au disque de Secchi)
- Microfaune rare et espèces caractéristiques :
  - Flagellés : *Hyalophacus* - *Bodo* - *Diplomonadidae* – *Hexamitidae*
  - Spirilles et Nématodes



#### Origine probable :

- Absence prolongée d'oxygène dans les boues.
- Zones mortes (décanteurs, dégazeurs, ...), dépôts
- revêtement intérieur du décanteur dégradé (accrochage des boues)
- Mauvaises conditions de reprise des boues en fond de décanteur

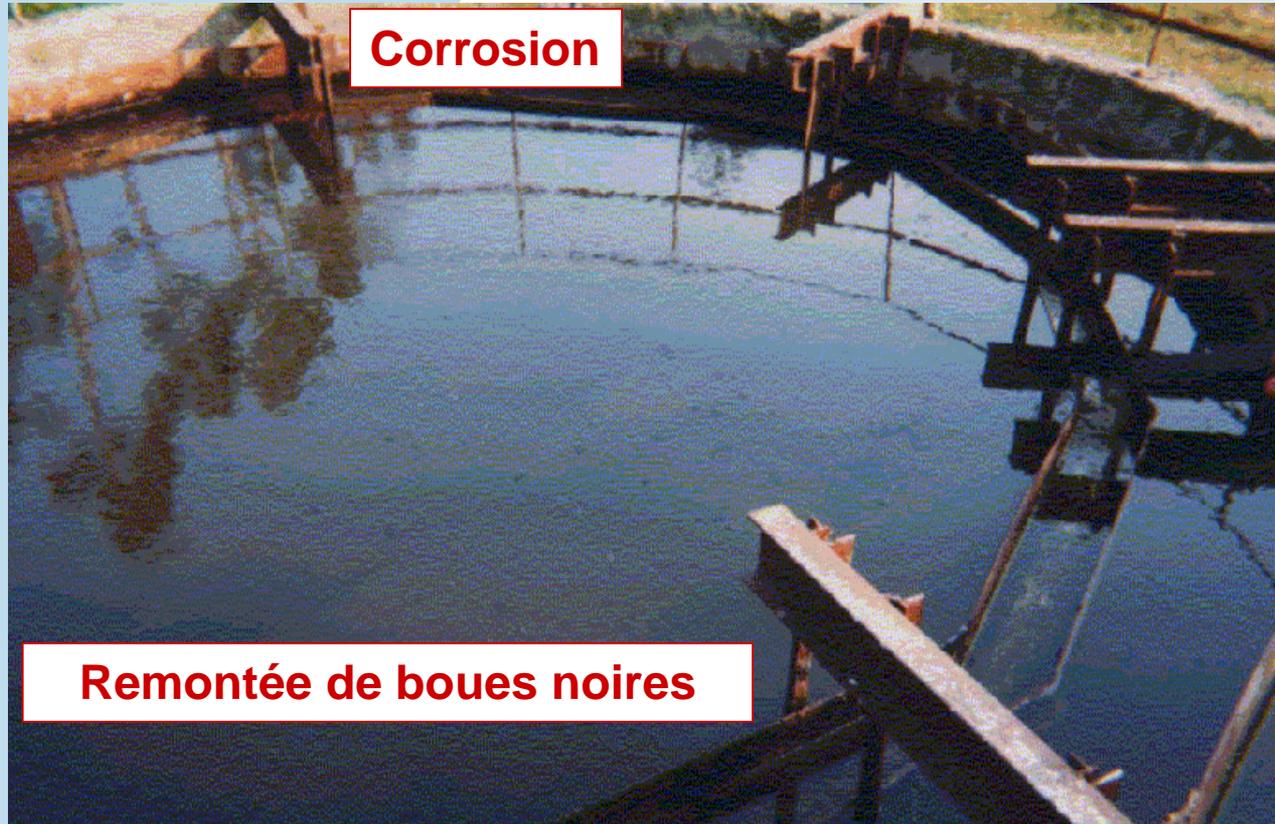
#### Solutions envisageables :

- Vérification du génie civil, remise en état, curage des zones de dépôts et suppression de ces zones
- Augmentation du temps d'aération, vérification et modification du système d'aération si besoin

C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire.  
Focus sur les fuites de MES et les difficultés de décantation

## TYPOLOGIE DES DIFFICULTES DE DECANTATION

**Difficultés liées à la floculation : Fermentation des boues**



# C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. Focus sur les fuites de MES et les difficultés de décantation

## TYPOLOGIE DES DIFFICULTES DE DECANTATION

### Difficultés liées à la floculation : Dénitrification dans le clarif

#### Critères visuels :

-Remontées en surface de décanteur d'amas de boues :

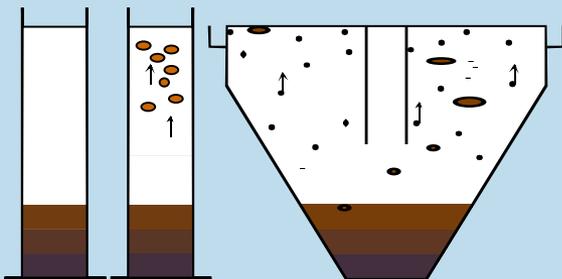
Couleur Marron

Pas d'odeur anormale

-Remontée de particules plutôt fines associées à des microbulles de gaz

-Instabilité des flottants

-Observation microscopique ne révélant rien d'anormal



#### Origine probable :

- STEP boues activées en aération prolongée, en souscharge, souvent sur-aérée et/ou avec une recirculation trop faible.

- Certaines STEP en moyenne charge, sous-chargées en période de chaleur

Facteur aggravant : **IB élevé**

#### Solutions envisageables :

- **Modification des consignes d'aération.**

- **Augmentation de la recirculation**

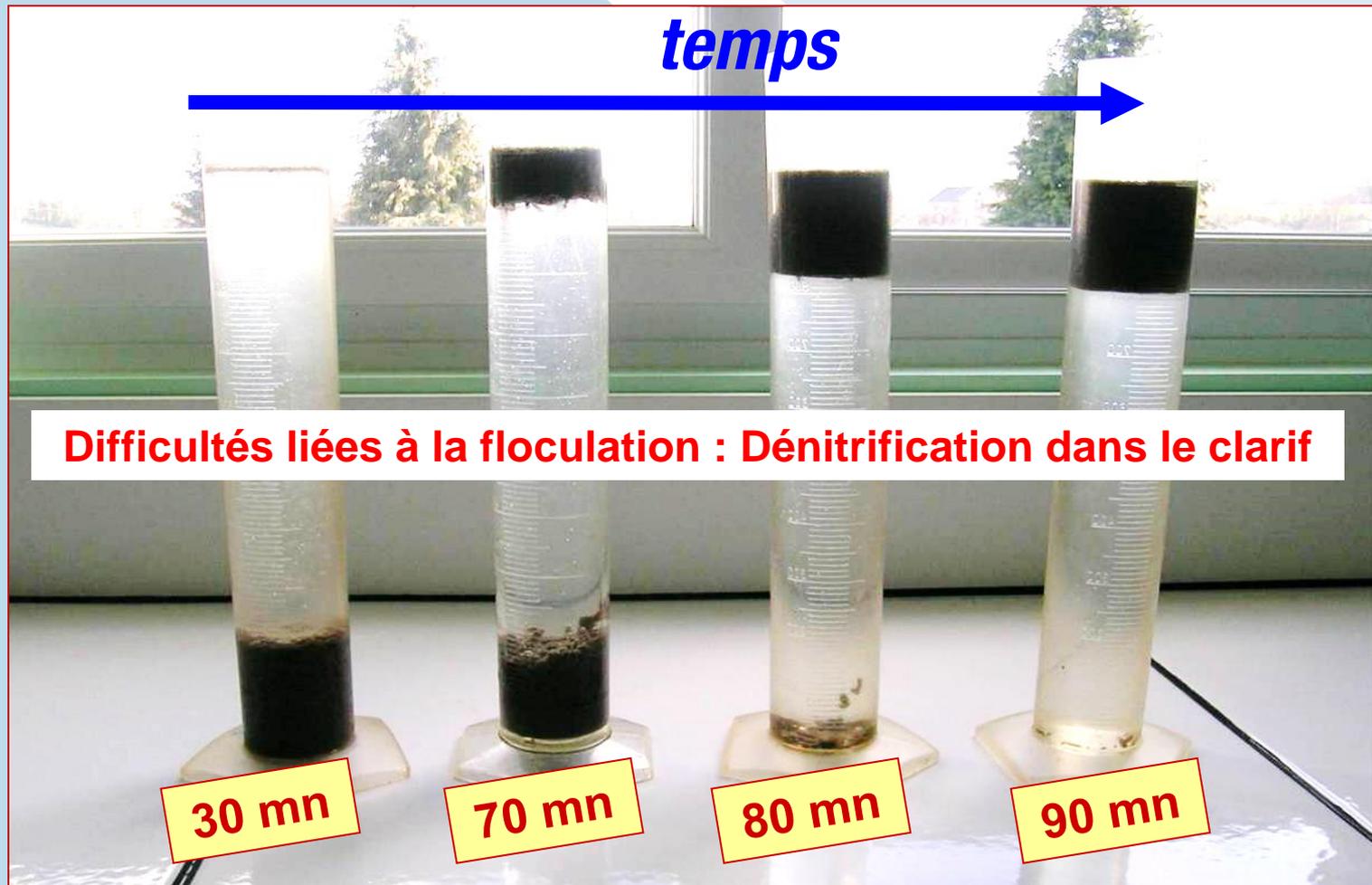
- **Maîtrise de la nitrification :  $\uparrow$  Cm soit  $\rightarrow \downarrow$**

**[MeS]<sub>BA</sub>**

-rabattre au jet (solution temporaire)

# C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. Focus sur les fuites de MES et les difficultés de décantation

## TYPOLOGIE DES DIFFICULTES DE DECANTATION



# C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. Focus sur les fuites de MES et les difficultés de décantation

## TYPOLOGIE DES DIFFICULTES DE DECANTATION

### Difficultés liées à la floculation : Moussage stabilisé



#### Critères visuels :

- flottants de couleur crème caramel à papier kraft
- Mousses flottantes très stables en surface de BA et de décanteurs
- Test de décantation d'autant plus révélateur du phénomène que l'échantillon de boue est prélevé en surface du BA
- Présence de microorganismes filamenteux fins ( $\Phi < 1 \mu\text{m}$ ) et souples type Microthrix ou ramifiés et raides type Nocardia notamment dans les mousses



# C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. Focus sur les fuites de MES et les difficultés de décantation

## TYPOLOGIE DES DIFFICULTES DE DECANTATION

### Difficultés liées à la floculation : Moussage stabilisé

#### Nature des difficultés :

- Mousses stables constituées de bulles d'air emprisonnées dans un mélange à forte Concentration

#### Origine probable :

- Age de boue trop élevé (extractions insuffisantes)
- influence des graisses et Acides Gras
- admission d'effluents septiques (entrée STEP, retour en tête, matières de vidanges)
- déséquilibre nutritionnel (carences N et P)
- zones de fermentation (dépôts,..)
- aération insuffisante

facteur aggravant : transit BA ▲ clarificateur



*Attention : phénomènes complexes avec parfois de multiples causes*

#### Solutions envisageables :

- diminuer la teneur en boue
- mise en place d'une zone de contact
- éviter les zones de septicité.
- bonne gestion des dégraisseurs
- rééquilibrer l'effluent
- satisfaire les besoins en oxygène
- concevoir un dégazeur efficace
- **traitement de la crise** : évacuation par pompage, ajouts de réactif.
- **traitement préventif** : zone de contact

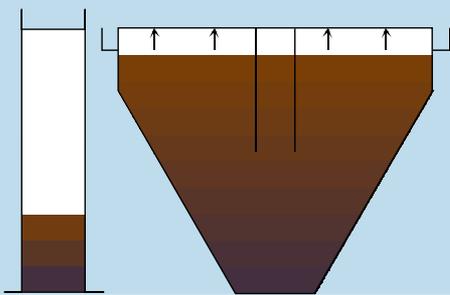
# C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. Focus sur les fuites de MES et les difficultés de décantation

## TYPOLOGIE DES DIFFICULTES DE DECANTATION

### Faible compacité des boues : Foisonnement filamentueux

#### Critères visuels :

- Pertes de boues épisodiques ou chroniques
- rejet ET de très bonne qualité (en absence de perte de boue)
- Phénomène pouvant être associé à la présence de mousses biologiques stables
  
- Test de décantation montrant un floc léger, floconneux, décantant et s'épaississant difficilement avec une interface gondolée
  
- Microfaune bien établie associant floc et densité importante de microorganismes.



#### Origine probable :

- Nombreuses (âge de boue, septicité, effluent déséquilibré, richesse en hydrate de carbone, composés soufrés réducteurs, rôle néfaste du décanteur primaire ?, dilution de l'effluent, déficit d'O<sub>2</sub>, trop faible charge massique...)

#### Solutions envisageables :

- Traiter la crise (zone de contact, chloration, lestage des boues, pompage, ...)
- éliminer les causes de ce développement filamentueux.

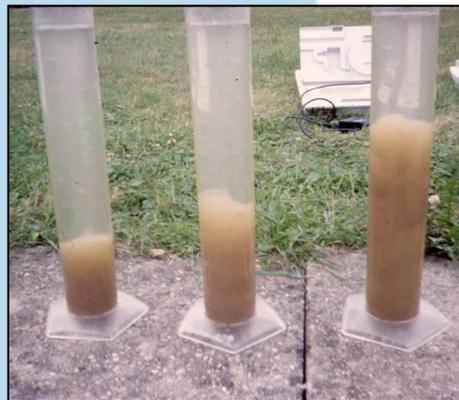
*Attention : phénomènes complexes avec parfois de multiples causes et souvent liées à la conception comme à l'exploitation*

# C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. Focus sur les fuites de MES et les difficultés de décantation

## TYPOLOGIE DES DIFFICULTES DE DECANTATION

**Faible compacité des boues : Foisonnement filamenteux**

***Ce qui ne se voit pas au fond ..... peut se voir en surface !***



## Exemples de situation et causes probables

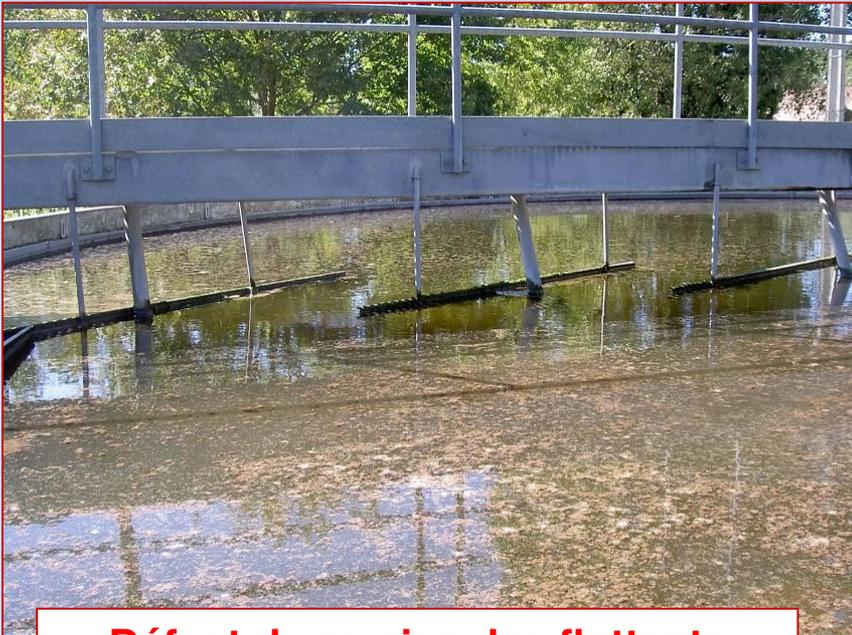


**Age des boues > 30 jours et défaut brassage dans zone anaérobie**



**Septicité retours : Fermentation dans épaisseur**

## Exemples de situation et causes probables



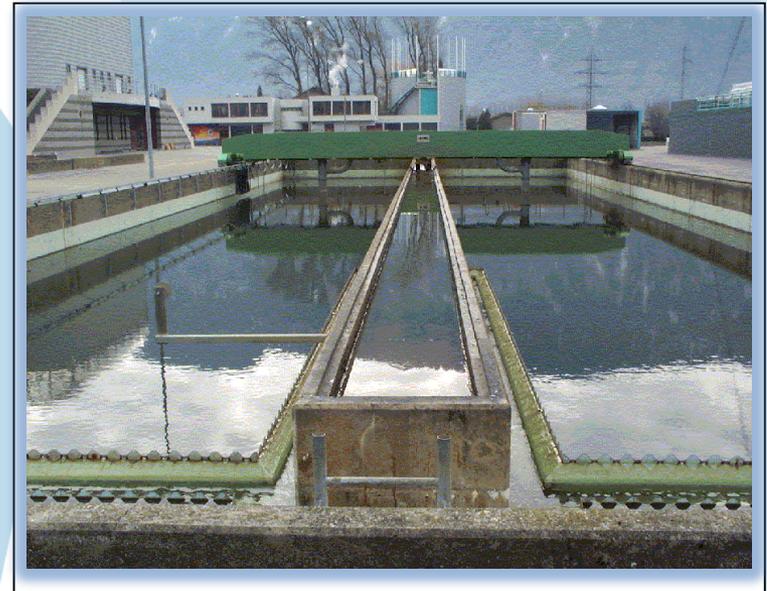
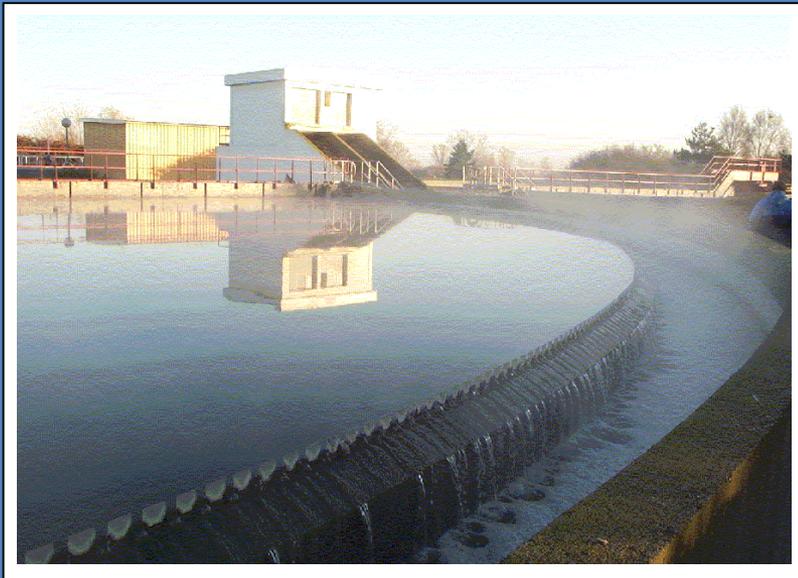
**Défaut de reprise des flottants  
sur clarificateur**



**Défaut de brassage & aération**

**C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire.  
Focus sur les fuites de MES et les difficultés de décantation**

***... Mais ces  
problèmes ne sont  
pas inéluctables ...!***



# C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. SUIVI ET DIAGNOSTIC

➤ **concentration en MES trop élevée dans l'effluent**

## EN RESUME ... LES FACTEURS CLEFS

**Va**

- LE DEBIT DE POINTE

**Vd**

- LA CONCENTRATION MES
- L'INDICE DE BOUE

## **pour maitriser la charge volumique au radier**

**1 MAITRISER  $MES_{BA}$  LIMITE DANS LE REACTEUR BIOLOGIQUE**

**2 FIXER UN SEUIL LIMITE POUR  $I_B$**

- SI RAPPROCHEMENT → SURVEILLANCE & EXTRACTION ACCRUES  
→ RECHERCHE OPTIMISATION REGLAGES
- **SI DEPASSEMENT** → **INTERVENTION** (chloration, lestage,..)

**3 RECALER LE DEBIT MAXIMUM ENTRANT SUR BOUES ACTIVEES**

## C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. SUIVI ET DIAGNOSTIC

### ➤ Les tests de base sur le terrain

- Constituent des indicateurs simples et rapides, même si peu précis
- valident approximativement la qualité des eaux épurées
- Orientent les réglages de base (sur boues activées)
  - Test de décantation (V30) → extraction des boues
  - Test de voile de boue → recirculation des boues
  - Tests NH<sub>4</sub> – NO<sub>3</sub> → aération des boues
  - Test PO<sub>4</sub> → dosage réactif
- Sur petites step : *sont souvent les seuls indicateurs disponibles*

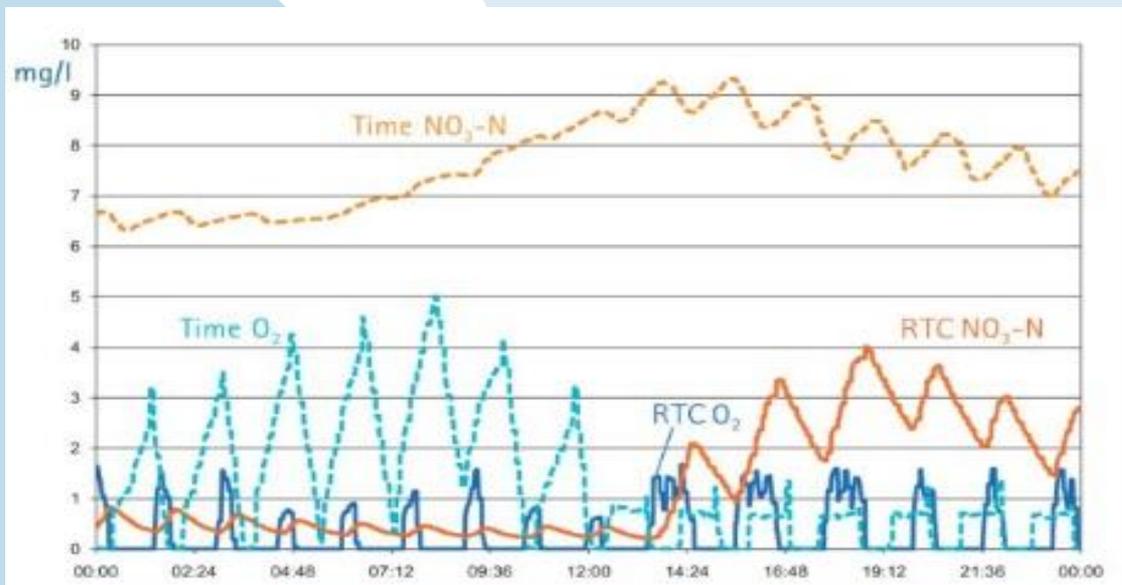
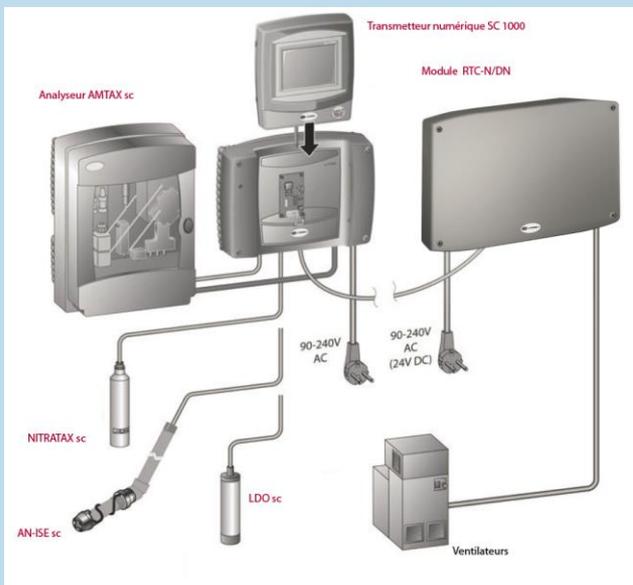
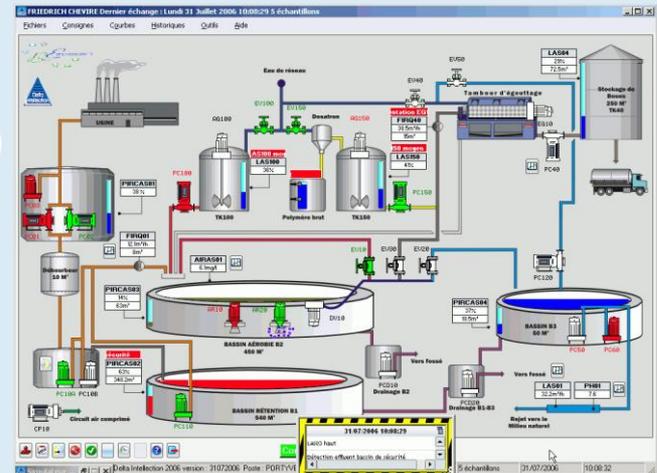
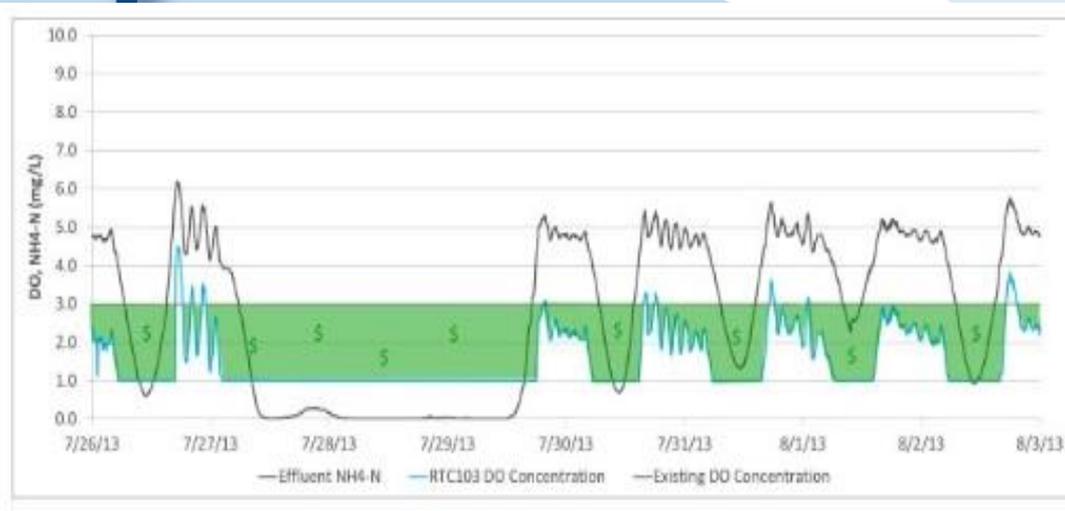
## C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. SUIVI ET DIAGNOSTIC

### ➤ Les mesures complémentaires

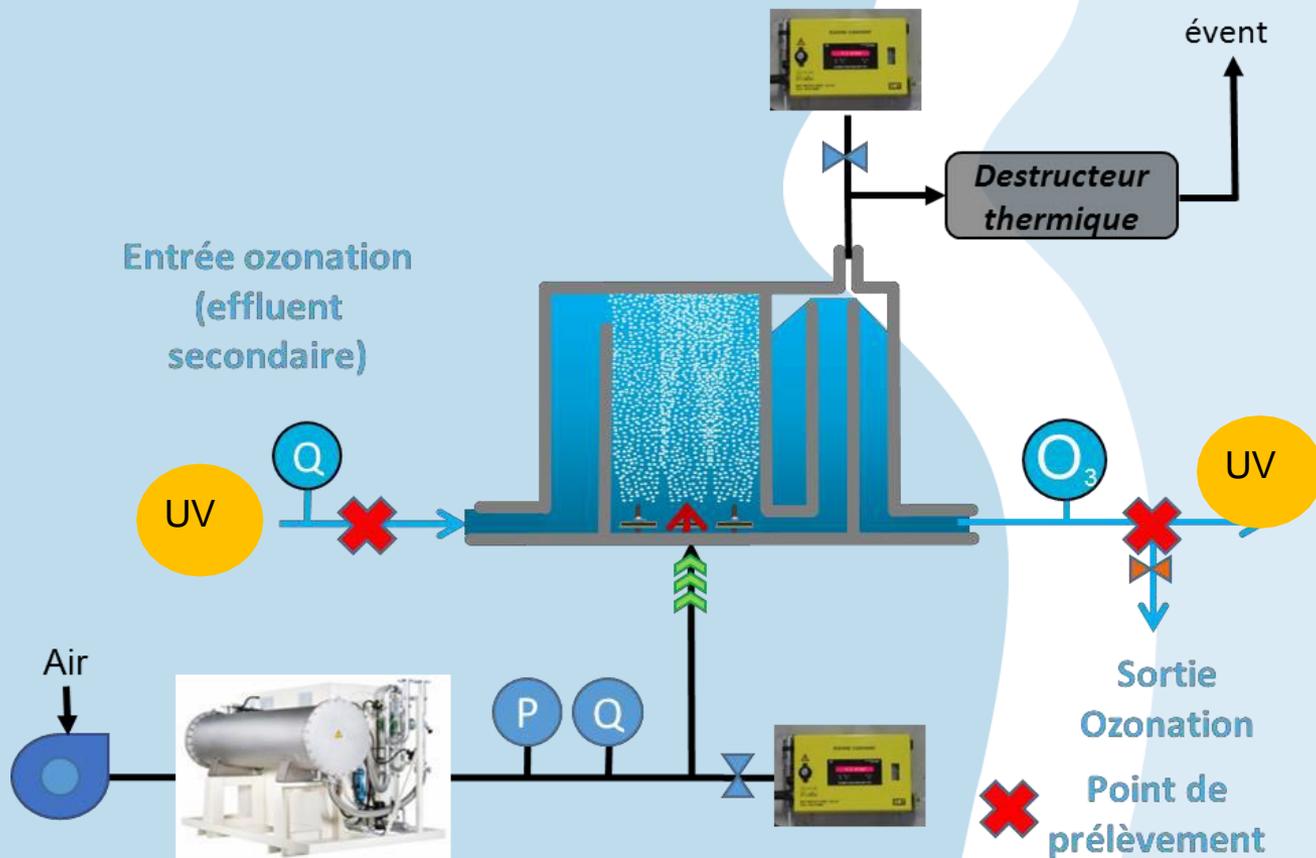
- Nécessitent plus de temps, de technicité, de matériel
- Exigent du matériel spécifique
  - analyseurs en ligne :  $O_2$  – redox – MES – voile boue
  - matériel portable : profil  $O_2$  ou redox sur bassin
  - microscope
- optimisent les réglages de base
  - Analyseurs  $O_2$  - redox -  $NH_4$  –  $NO_3$  → aération des boues
  - Analyseurs PTM et perméabilité → cycles filtration & rétrolavage
  - Analyseur pertes de charge → gestion des lavages
- Caractérisent les anomalies et leurs causes
  - Examen microscopique des boues

# C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire.

## CONTRÔLE DES PROCÉDES



C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire.  
**CONTRÔLE DES PROCÉDES** exemple monitoring UV à  
différentes longueurs d'ondes pour le contrôle d'efficacité de  
l'ozonation sur les micro-polluants (Irstea / Suez)



# C/ Nécessité d'éviter les dysfonctionnements du secondaire. ANALYSES ET SIMULATIONS A ECHELLE ELARGIE

## Meilleures integration des différentes thématiques d'aménagement

- Stratégie moyen long terme
- Amélioration cadre de vie et Environnement
- **Connexions externes (ville / bassin)**

## Meilleures connaissances des évolutions

- Diagnostics de territoires
- Valorisation économique
- Résilience climatique
- **Modélisation**

## Meilleures connaissances des comportements usagers et des fonctionnements des infrastructures

- **Gestions patrimoniales prédictives**
- **Projets sur des bases réelles**
- **Exploitations optimisées**

**TENDANCES**  
**APPROCHES INTEGREE**  
**PROSPECTIVES**  
**SIMULATIONS**  
**GESTIONS AVANCEES**





## D/ Conclusion: Des tendances vers des traitements plus coûteux

Des coûts directs et indirects:

- le tertiaire / quaternaire et ses coûts de fonctionnement
- la fiabilisation du secondaire
- l'augmentation du suivi et de la régulation
- la qualification du personnel



## D/ Conclusion: La réutilisation et les principes d'économie circulaire au cœur des choix techniques

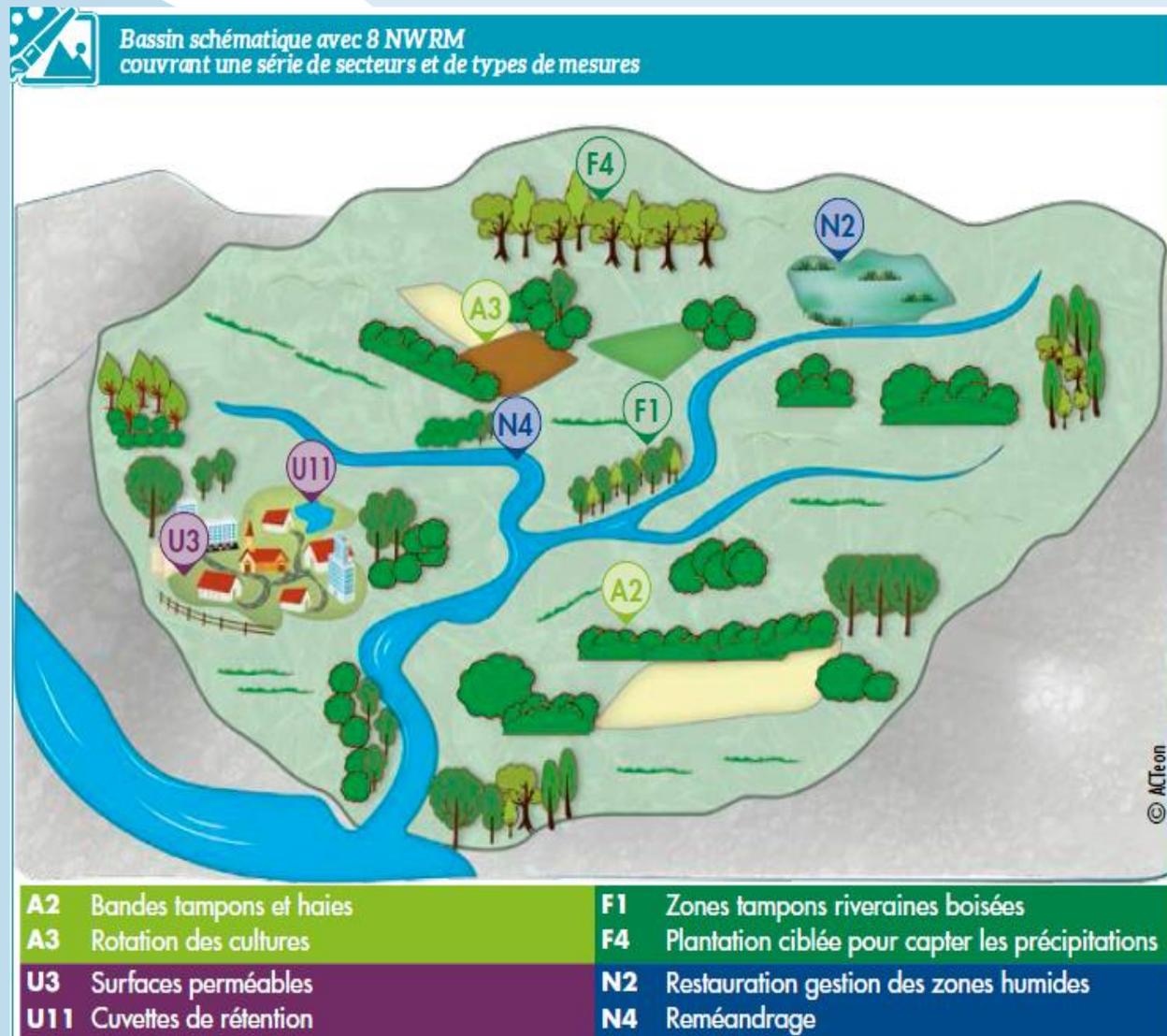
- → **ERC**
- La réduction à la source pour les industriels et les agriculteurs
- Le devenir des boues
- Une approche multi usages et symbiose
- Des apports possibles par les solutions complémentaires éco-ingéniérées
- Projets de territoires adaptés à la gestion des pollutions diffuses

# → Bénéfices Multiples et « trains » de mesures

Une approche territoriale, par bassin, multi-acteurs

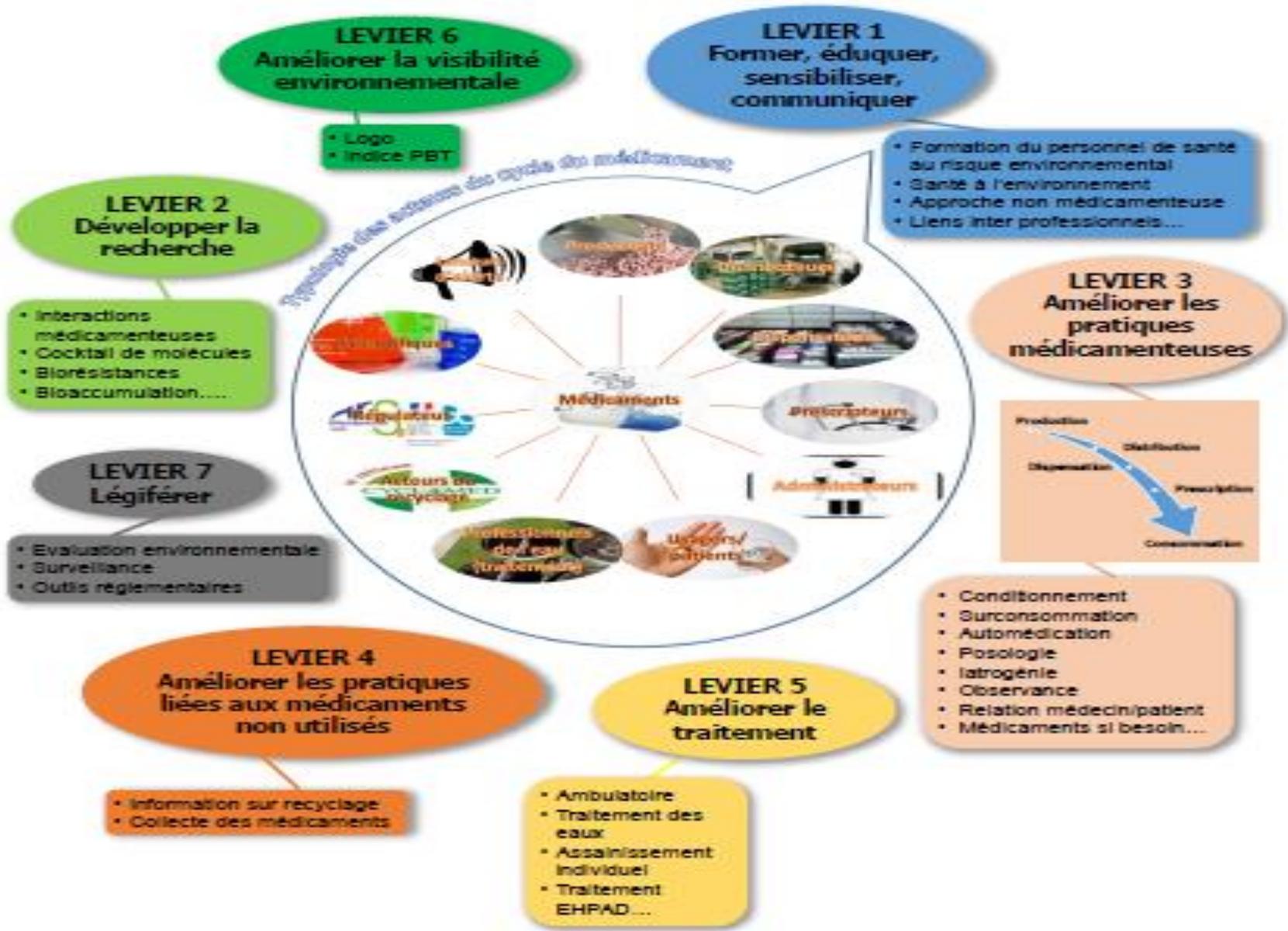
Des enjeux et bénéfices croisés

Des outils de choix vis-à-vis des impacts et des bénéfices





# D/ Conclusion: Les traitements à la source nécessaires



## D/ Conclusion : La nécessité de la connaissance et de la formation pour la conception et l'exploitation

**SAVOIR OBSERVER ET DIAGNOSTIQUER**

**ANTICIPER ET REAGIR**

**ANALYSER ET COMPRENDRE**

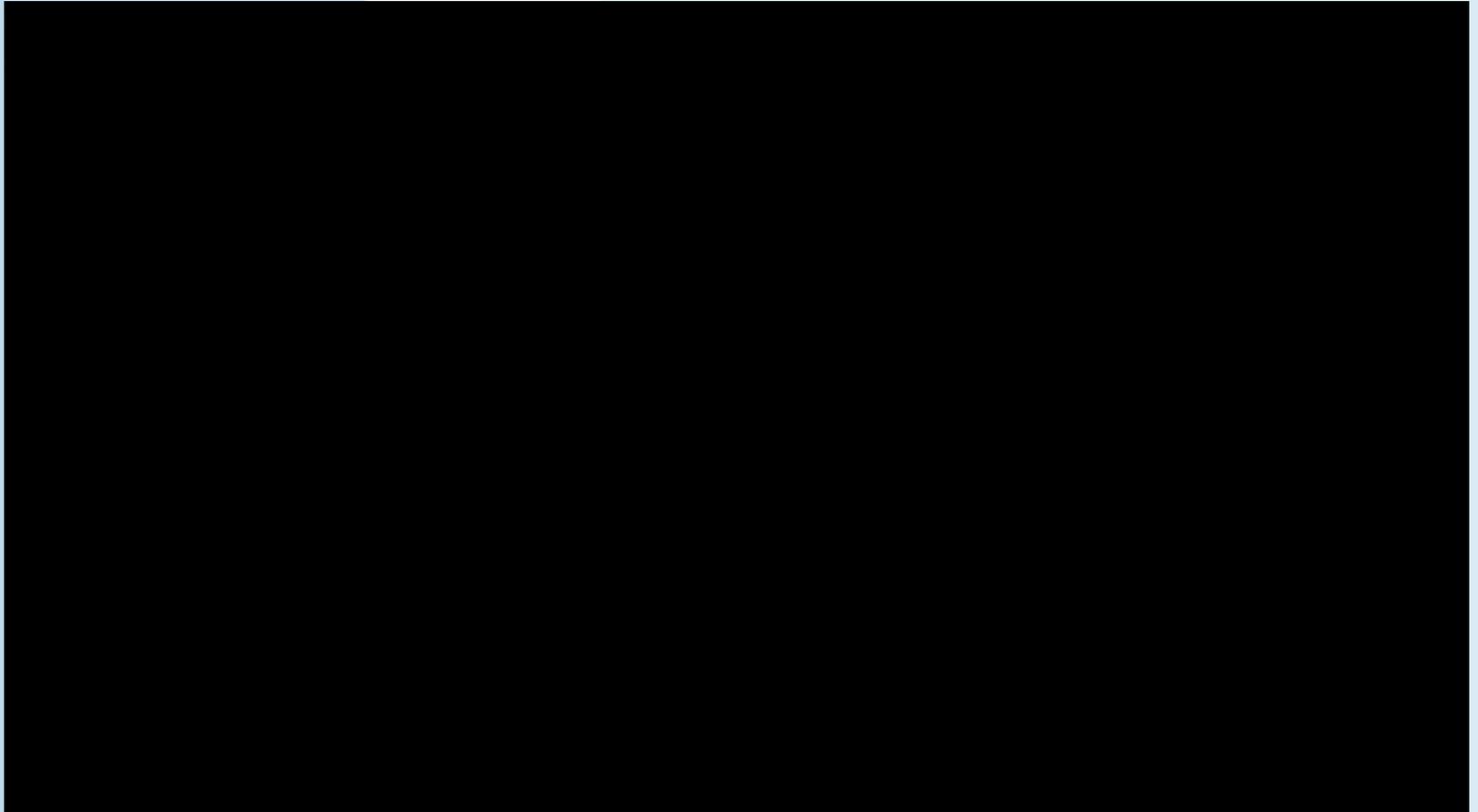
**MAINTENIR EN CURATIF ET PREVENTIF**

**SE FORMER AUX  
NOUVEAUX OUTILS  
DE CONTRÔLE  
COMMANDE, GMAO,  
SIMULATEURS**

**ACQUERIR LES  
GESTES METIERS PAR  
L'EXPERIENCE SUR  
DES PLATEFORMES  
POUVANT  
DYSFUNCTIONNER**

**CONNAITRE  
POUR FIABILISER  
: CAPTEURS,  
REGULATION,  
ANALYSE ET  
ANALYSEURS...**

Merci pour votre attention



Marc-Yvan LAROYE  
Office International de l'Eau  
[www.oieau.org](http://www.oieau.org), [my.laroye@oieau.fr](mailto:my.laroye@oieau.fr)