



**FEUILLE DE ROUTE POUR LE
DÉVELOPPEMENT DE LA
RÉUTILISATION DE L'EAU :
avancée technologique, empreinte
énergétique, lien coût-risque**

Valentina LAZAROVA

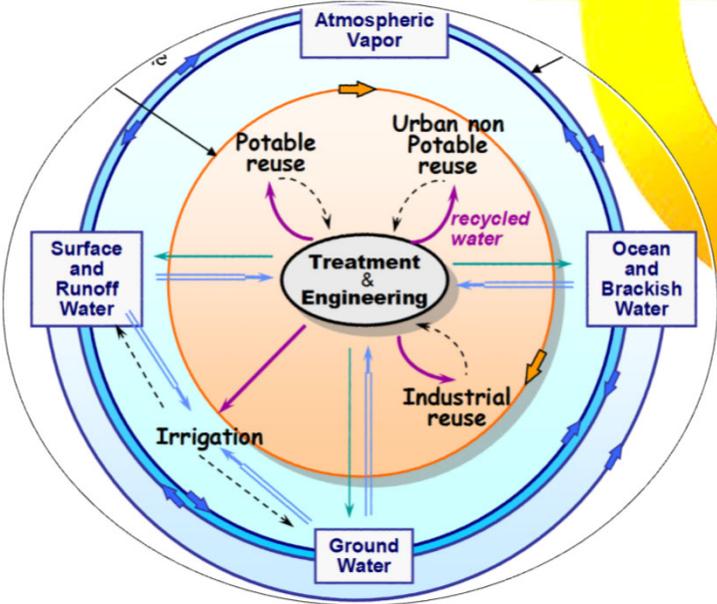
Toulouse, JTED, 20 mai 2019

La réutilisation de l'eau — pilier de l'économie circulaire

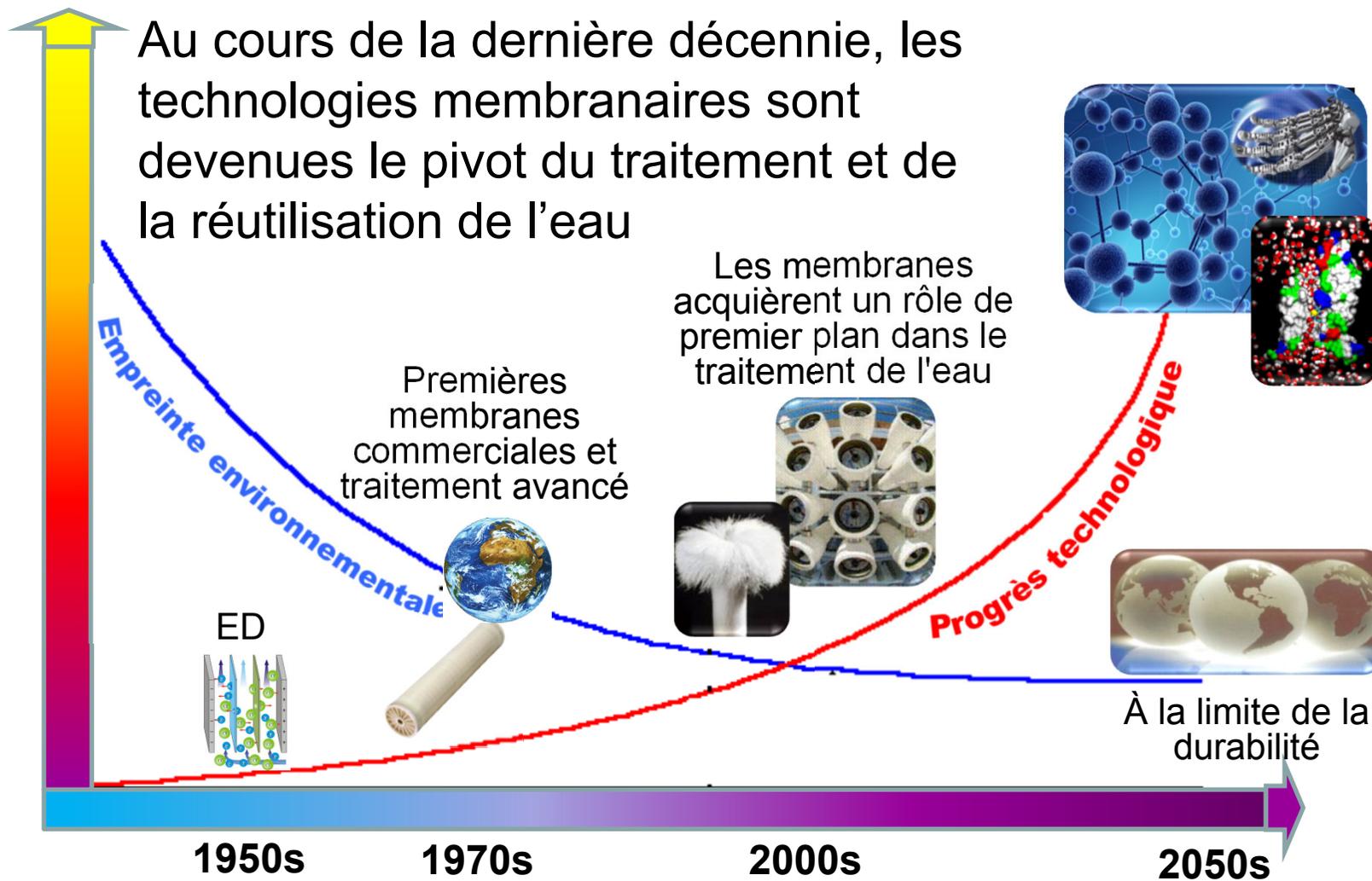
S'adapter au changement climatique et à l'urbanisation croissante

Promouvoir la réutilisation de l'eau pour une gestion intégrée des ressources

Fermer le cycle de l'eau



L'innovation technologique au service du développement durable



La technologie comme catalyseur de la réutilisation de l'eau – l'exemple de Orange County, CA

Groundwater Replenishment System (GWRS) –
Système de réapprovisionnement en eau souterraine

Installation avancée de traitement de l'eau

2008 – 265 000 m³/j
2015 – 378 000 m³/j
2022 – 492 000 m³/j



1976 Water Factory 21



2004-2008 Interim Water Factory MF/RO/UV



2008 Advanced Water Purification Factory



Courtesy: OCWD

La technologie comme catalyseur de la réutilisation de l'eau – l'exemple de Orange County, CA

Points clés

- **1976:** Water Factory 21, barrière contre l'intrusion saline (1976-2004), 57 000 m³/j, 23 puits d'injection, **première installation d'osmose inverse (OI)** en 1977, 67% d'eau recyclée
- 2004-2008 Water Factory « intérimaire » MF/OI/UV (19 000 m³/j)
- **2008:** Groundwater replenishment system, 265 000 m³/j
 - ✓ **Épuration avancée de l'eau : MF / 3 étages TFC OI / UV+H₂O₂ /** surveillance en temps réel
 - ✓ Extension de la barrière contre l'intrusion saline avec de l'eau recyclée à 100% et réapprovisionnement des bassins d'infiltration existants





**Feuille de route sur l'innovation technologique
pour la réutilisation de l'eau**

Tendances mondiales d'innovation technologique pour la réutilisation de l'eau

Amélioration de la fiabilité, des performances, de la flexibilité et de la robustesse des technologies existantes

- ✓ BRM, biofiltration, oxydation avancée, désinfection....
- ✓ Traitement membranaire multi-barrière (MF/OI, UF/OI....)
- ✓ Procédés de traitement naturel (lagunage, rhizofiltration...)



Nouvelles technologies à coût compétitif et efficacité énergétique améliorée

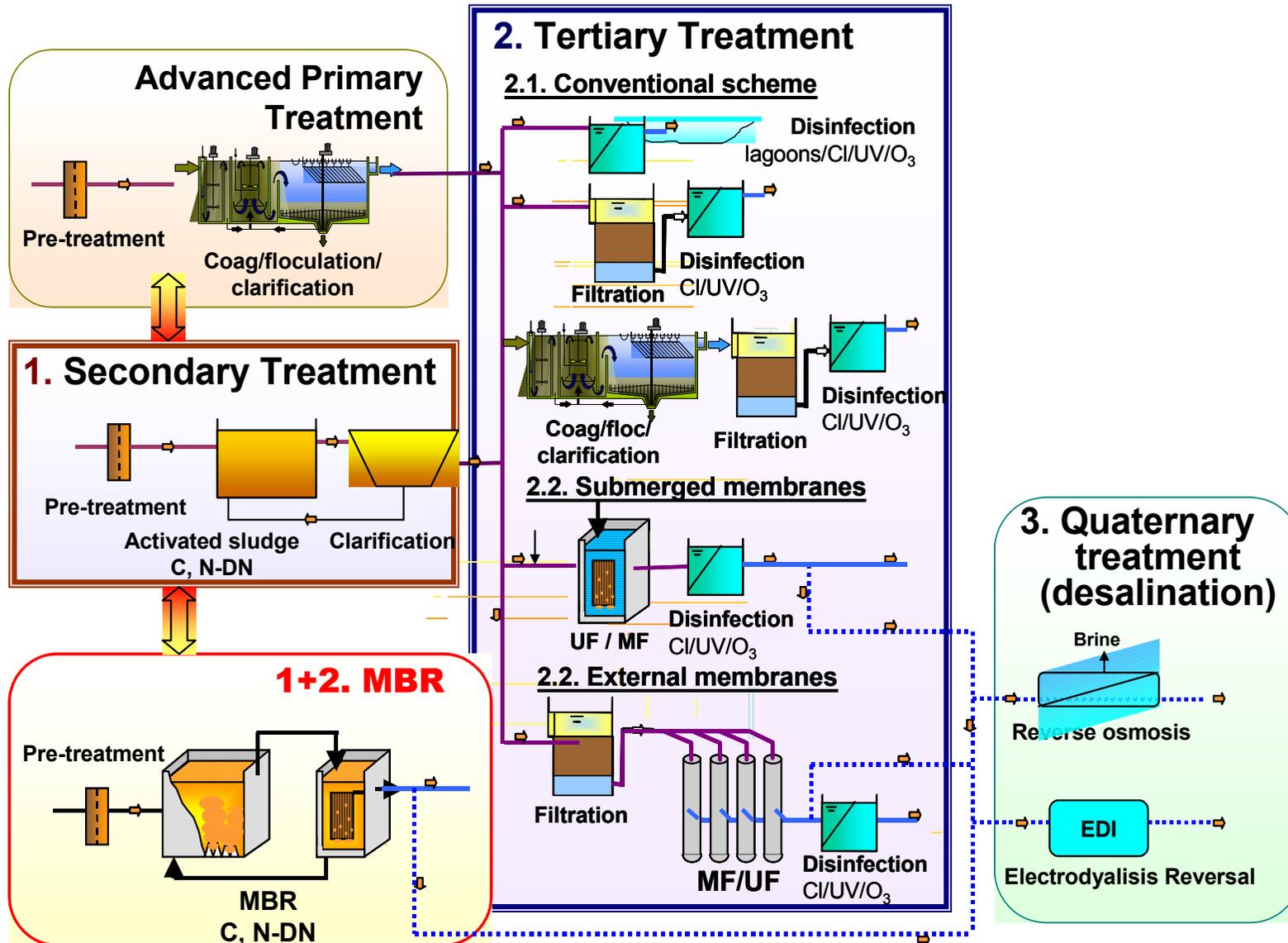
- ✓ Élimination C & N, micropolluants organiques, nanotechnologies, nouvelles membranes ...

Surveillance améliorée de la qualité de l'eau et des performances des procédés

- ✓ Surveillance en ligne et nouveaux paramètres de substitution
- ✓ Analyse à large spectre d'agents pathogènes, de contaminants émergents, de toxicité...
- ✓ Méthodes analytiques pour les micropolluants organiques, les nanoparticules, la résistance aux antibiotiques...



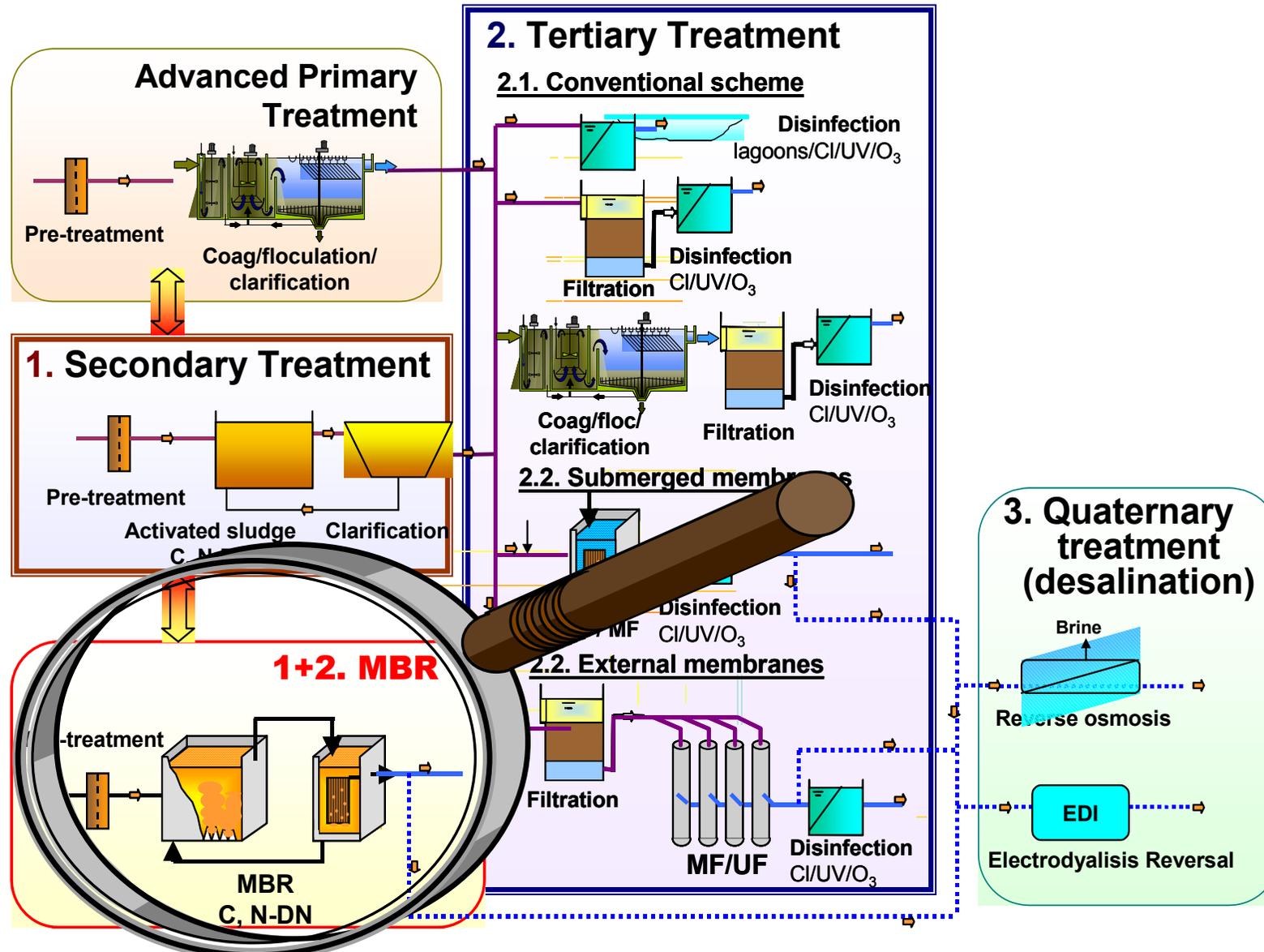
Tendances mondiales d'innovation technologique pour la réutilisation de l'eau – filières types





**Amélioration des
technologies existantes**

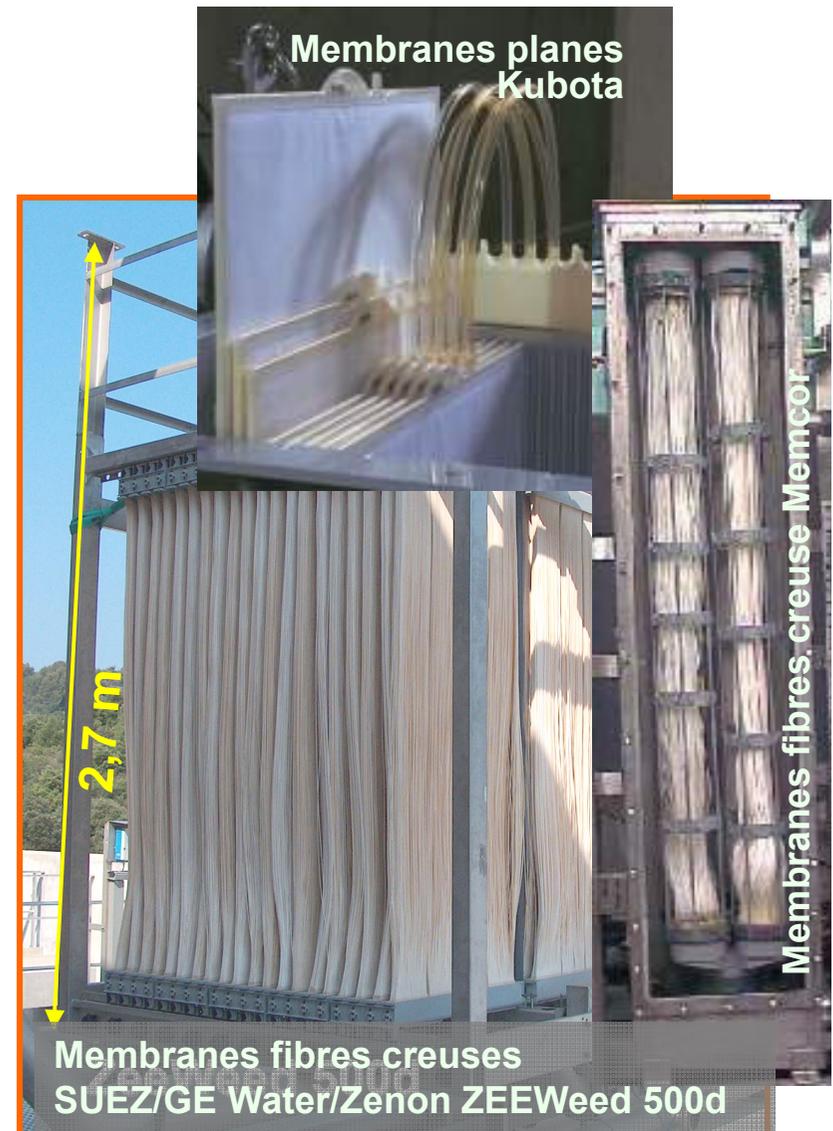
Tendances mondiales d'innovation technologique pour la réutilisation de l'eau – filières types



Traitement biologique avancé

Les BioRéacteurs à Membranes (BRMs)

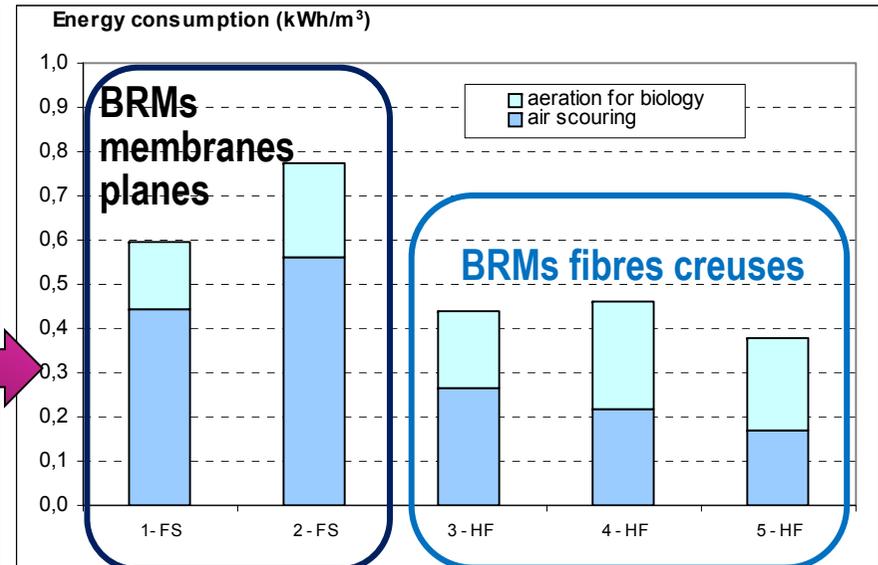
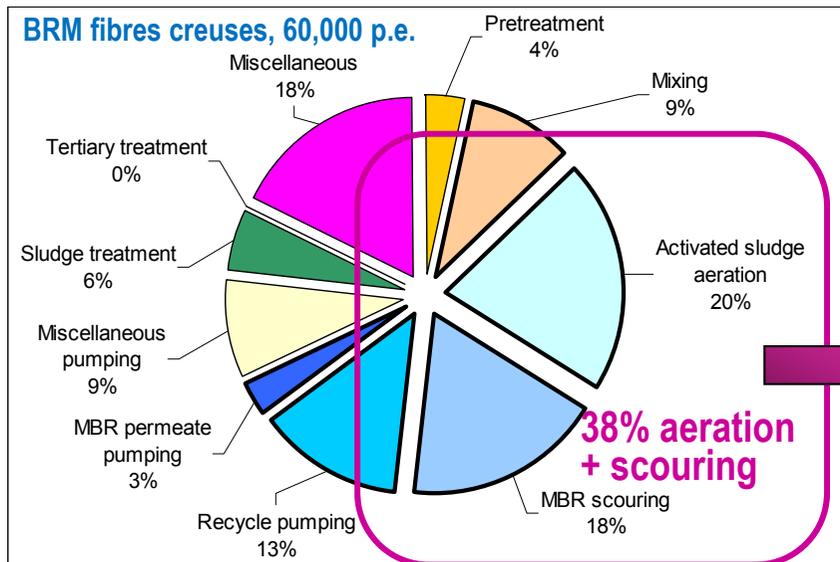
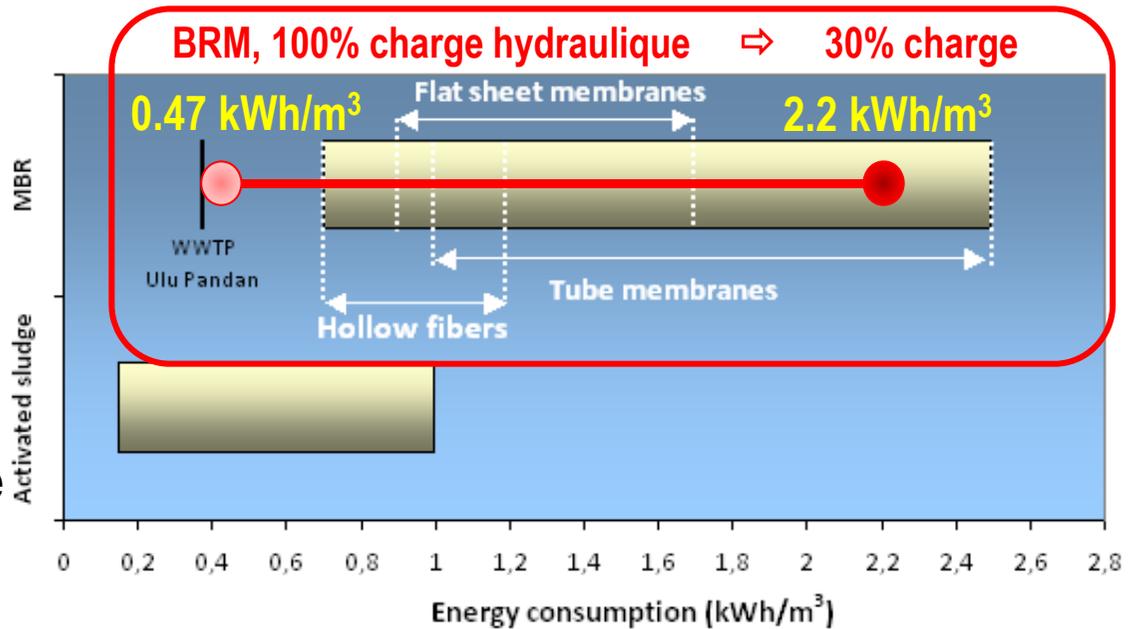
- Deux types principaux
 - ✓ Membranes immergées (principalement pour les eaux usées urbaines)
 - ✓ Membranes à circulation externe (eaux usées industrielles)
- Avantages principaux
 - ✓ Faible encombrement et conception modulaire
 - ✓ Qualité élevée des effluents, sans solides, meilleure élimination C & N, désinfection
 - ✓ Fiabilité et automatisation
- Principaux défis
 - ✓ Mise à l'échelle pour les très grandes installations
 - ✓ Pré-traitement
 - ✓ Capex élevé (400 à 6600 \$/m³)
 - ✓ Energie et Opex (0.44-1.32 \$/m³)
 - ✓ Standardisation des membranes
 - ✓ Couplage BRM-OI
 - ✓ Évaluation de la performance : LRV et tests d'intégrité



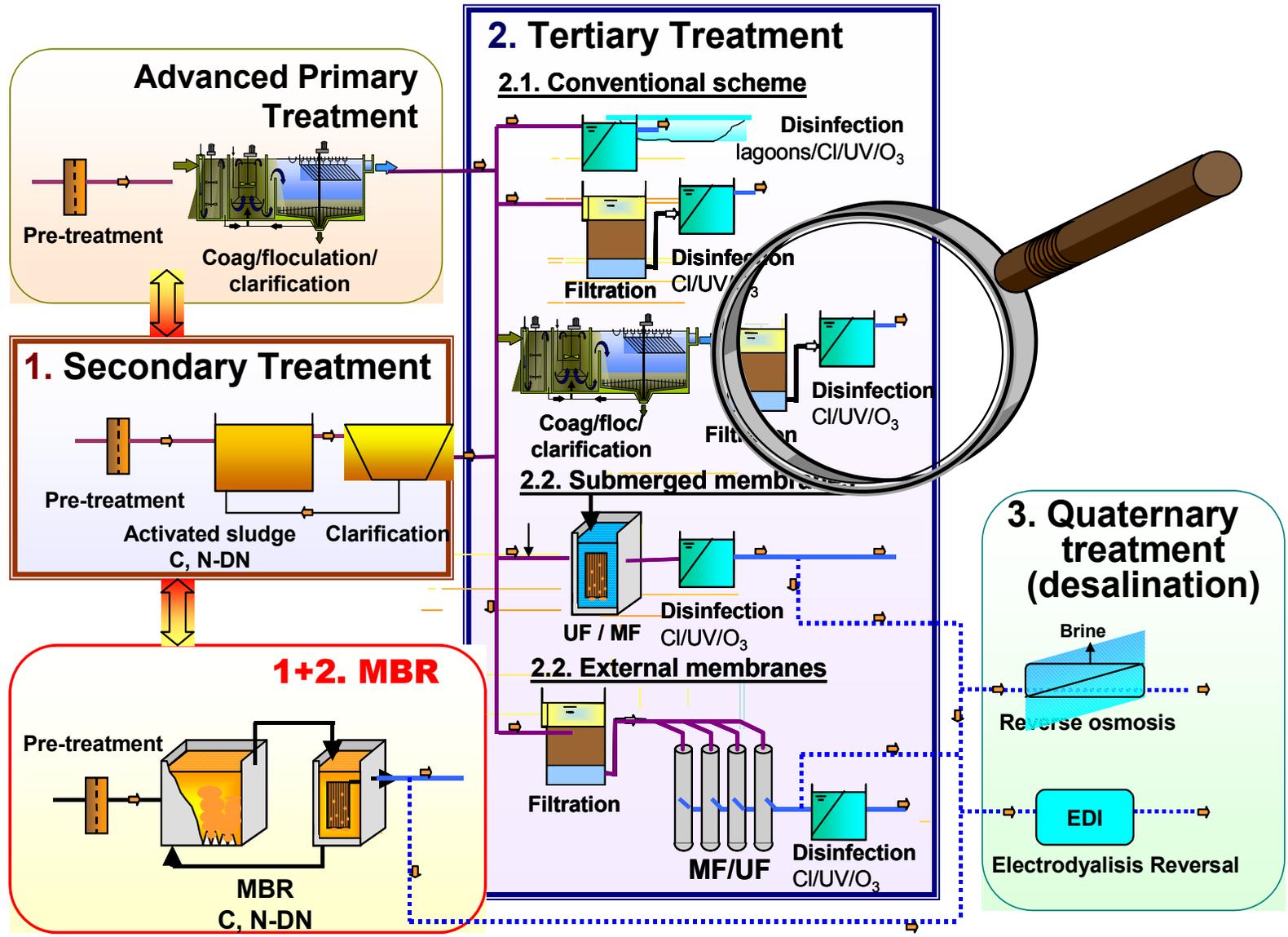
Principaux défis de BRMs – Consommation énergétique

Empreinte énergétique plus élevée que les boues activées

Influence importante de la charge hydraulique
38 to 80% de l'énergie pour l'aération biologique et des membranes

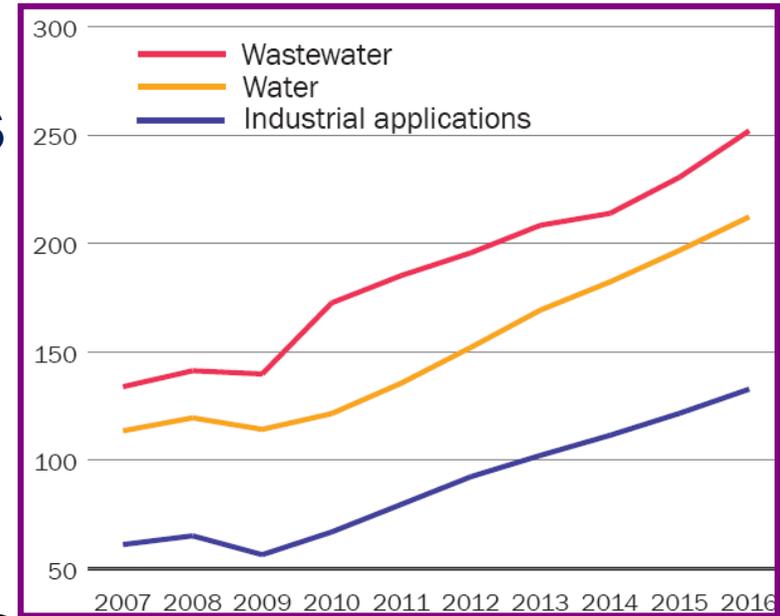


Tendances mondiales d'innovation technologique pour la réutilisation de l'eau – filières types

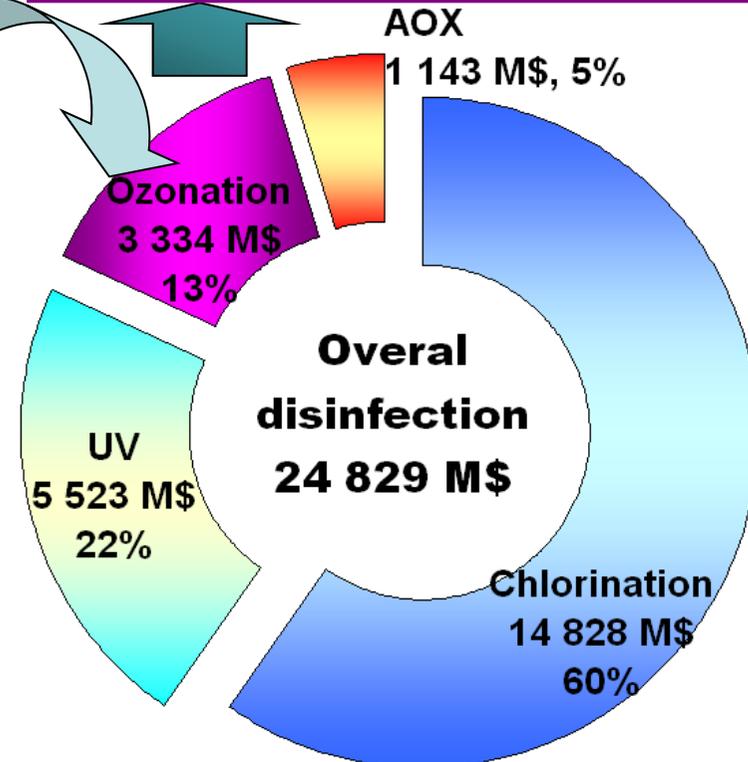
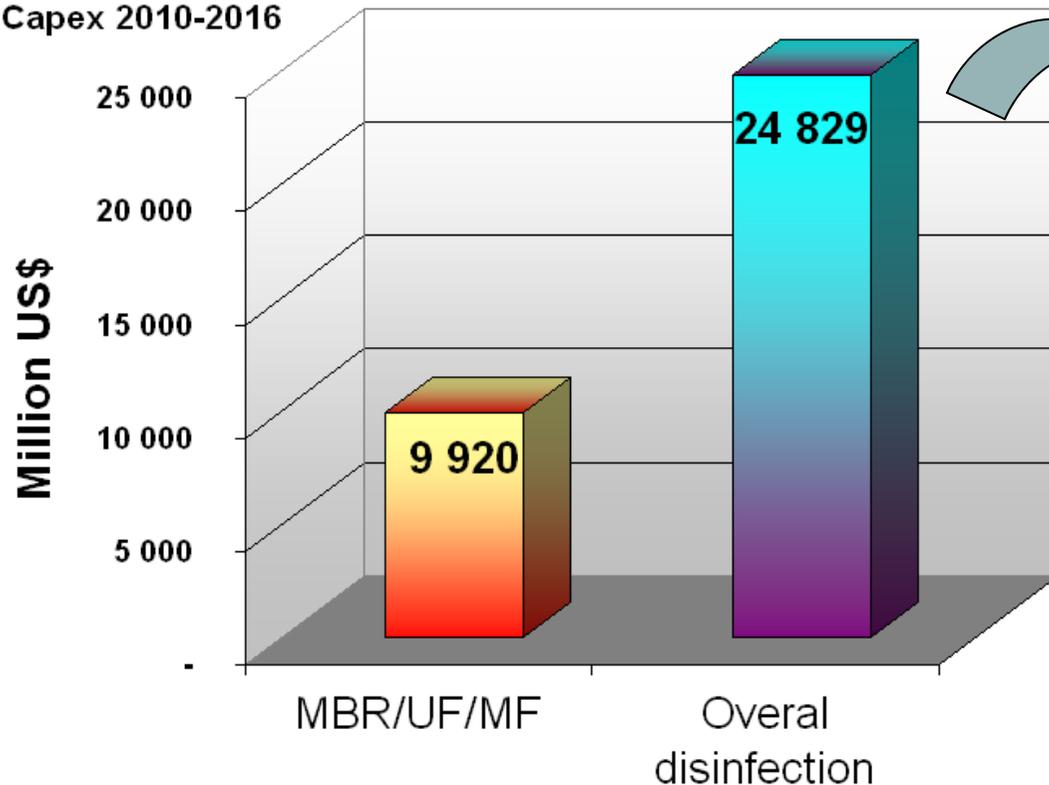


Désinfection des eaux usées

- Intérêt croissant pour l'UV
- L'ozonation ne représente que 13% du marché total de la désinfection en 2016
- Une croissance élevée du marché est attendue pour toutes les applications



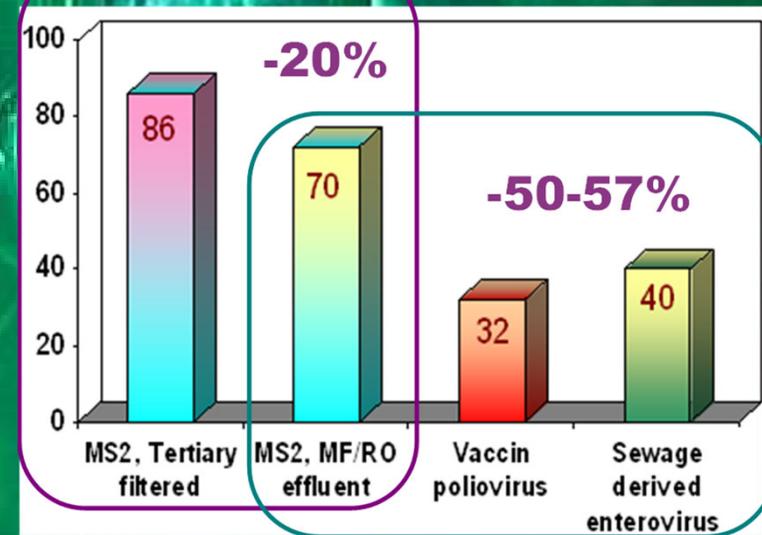
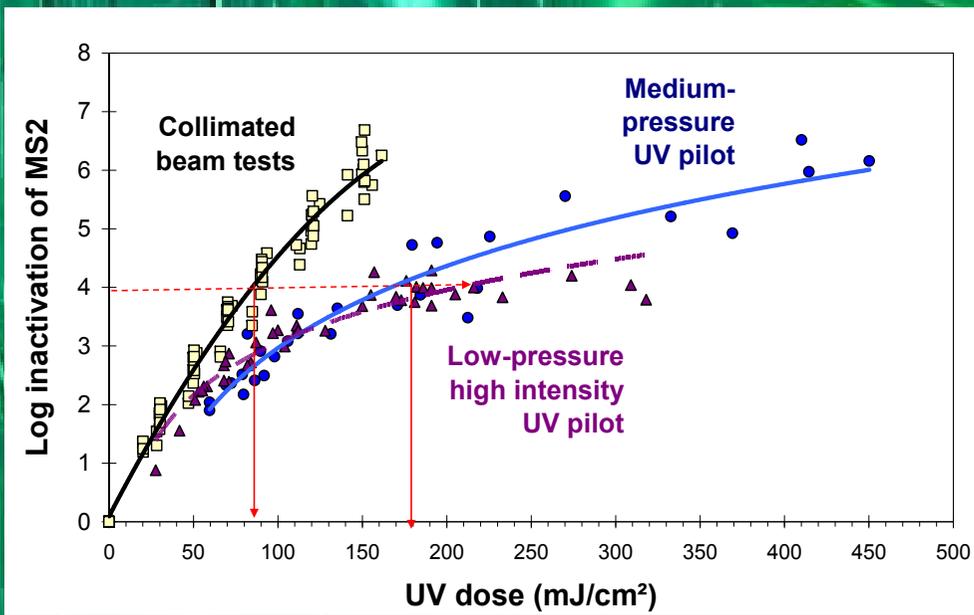
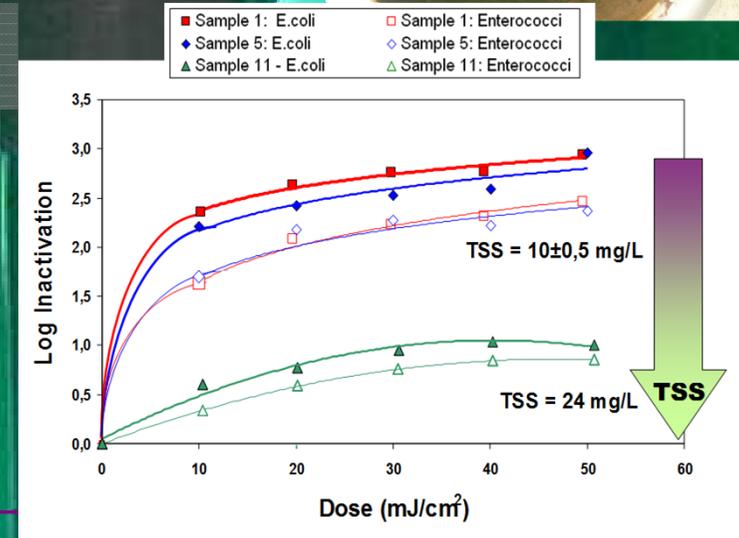
Capex 2010-2016

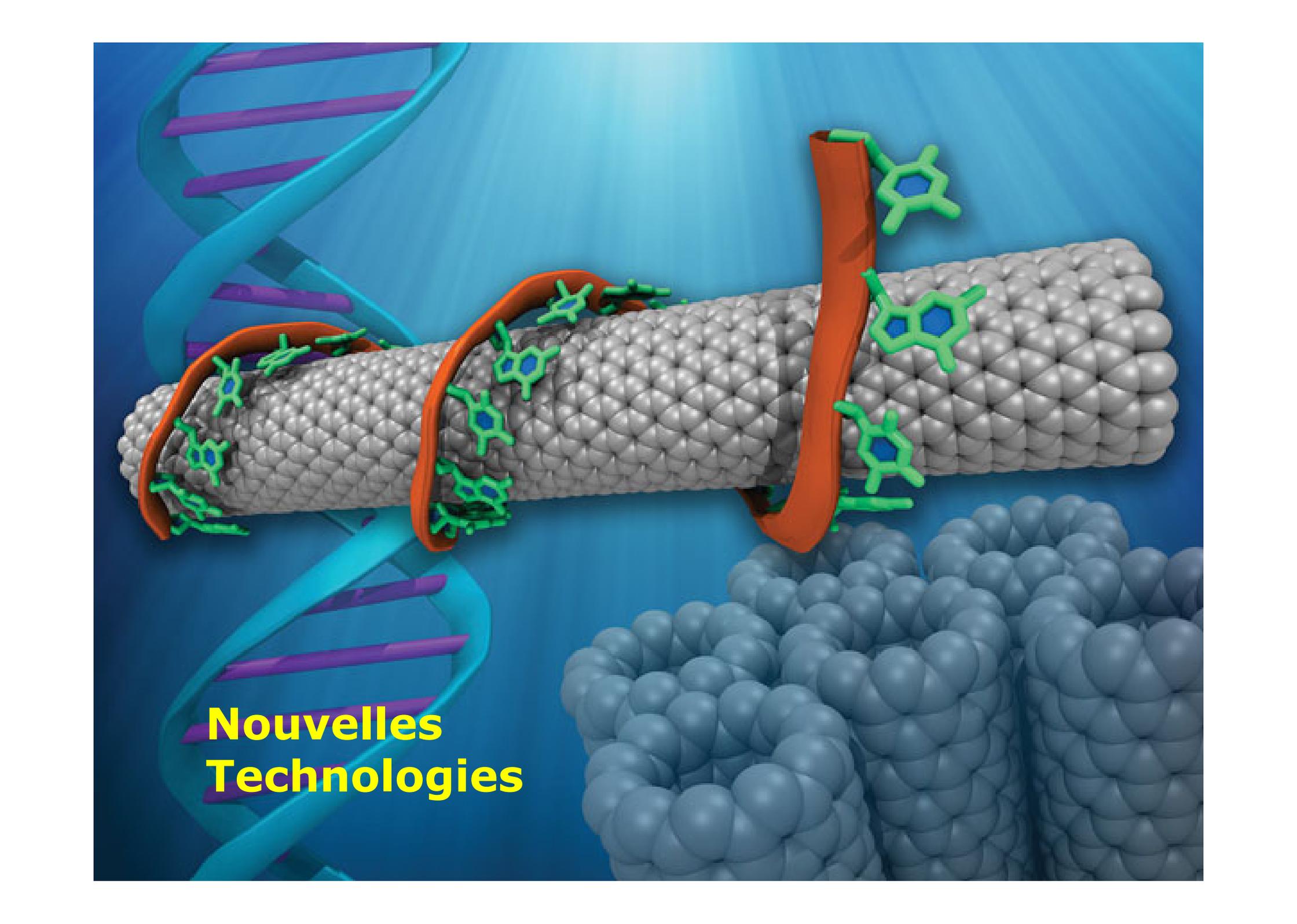


*Source: GWI, Municipal Water Reuse Markets 2010

Désinfection UV – Défis principaux

- Control de la dose UV
- Influence élevée de la qualité de l'eau
- Influence du type de microorganisme
- Influence élevée of des conditions hydrodynamiques



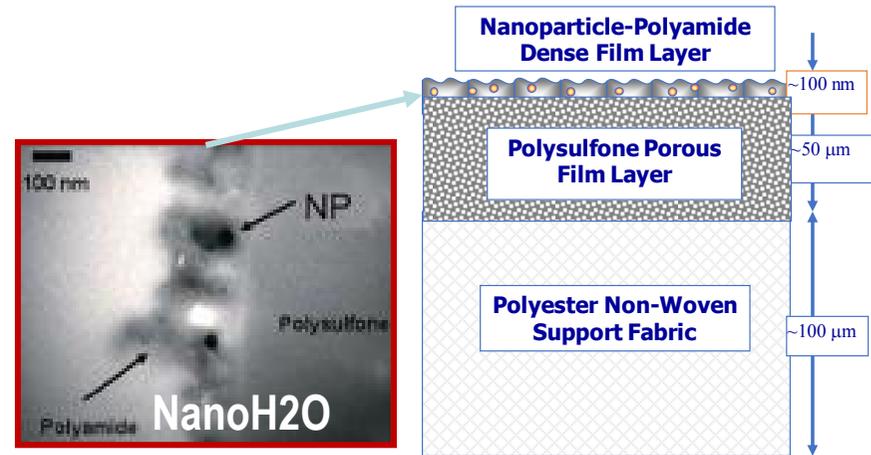
A 3D molecular model illustrating a protein-DNA complex. On the left, a DNA double helix is shown with cyan ribbons and purple rungs. A grey, textured cylindrical protein structure is bound to the DNA. An orange ribbon structure, representing a specific protein or peptide, is wrapped around the grey cylinder. Several green, ring-like chemical structures are attached to the orange ribbon. In the foreground, there are several grey, textured cylindrical structures, possibly representing other protein subunits or a different view of the same complex. The background is a blue gradient with light rays.

**Nouvelles
Technologies**

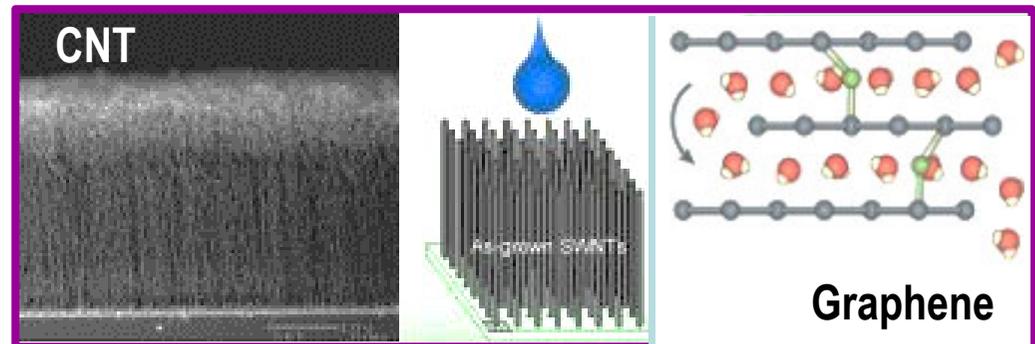
Nouvelles Technologies

Nano-Membranes

- Nouvelles membranes de **nanomatériaux**
 - ✓ Nanocomposites en couche mince (e.g. NanoH2O QuantumFlux)
 - ✓ Autonettoyant / catalytique
 - ✓ Membranes à matrice mixte (e.g. hybrides TiO_2 /polymère...)

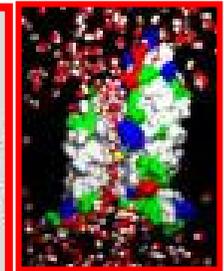
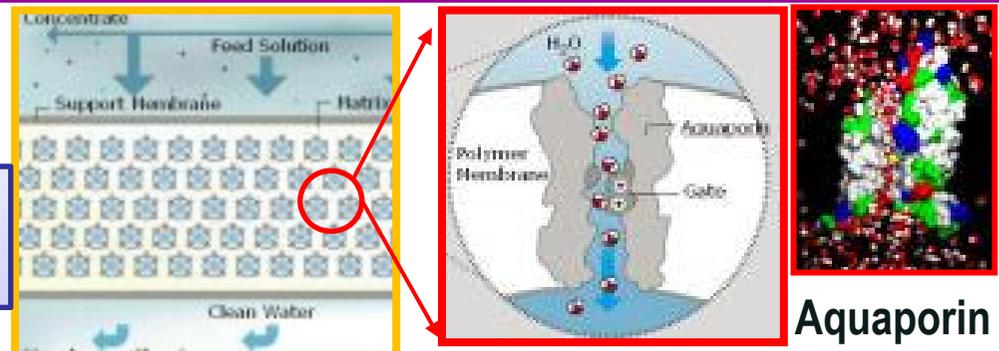


- **Membranes à base de carbone**
 - ✓ Nanotubes de carbone (CNT)
 - ✓ Graphène

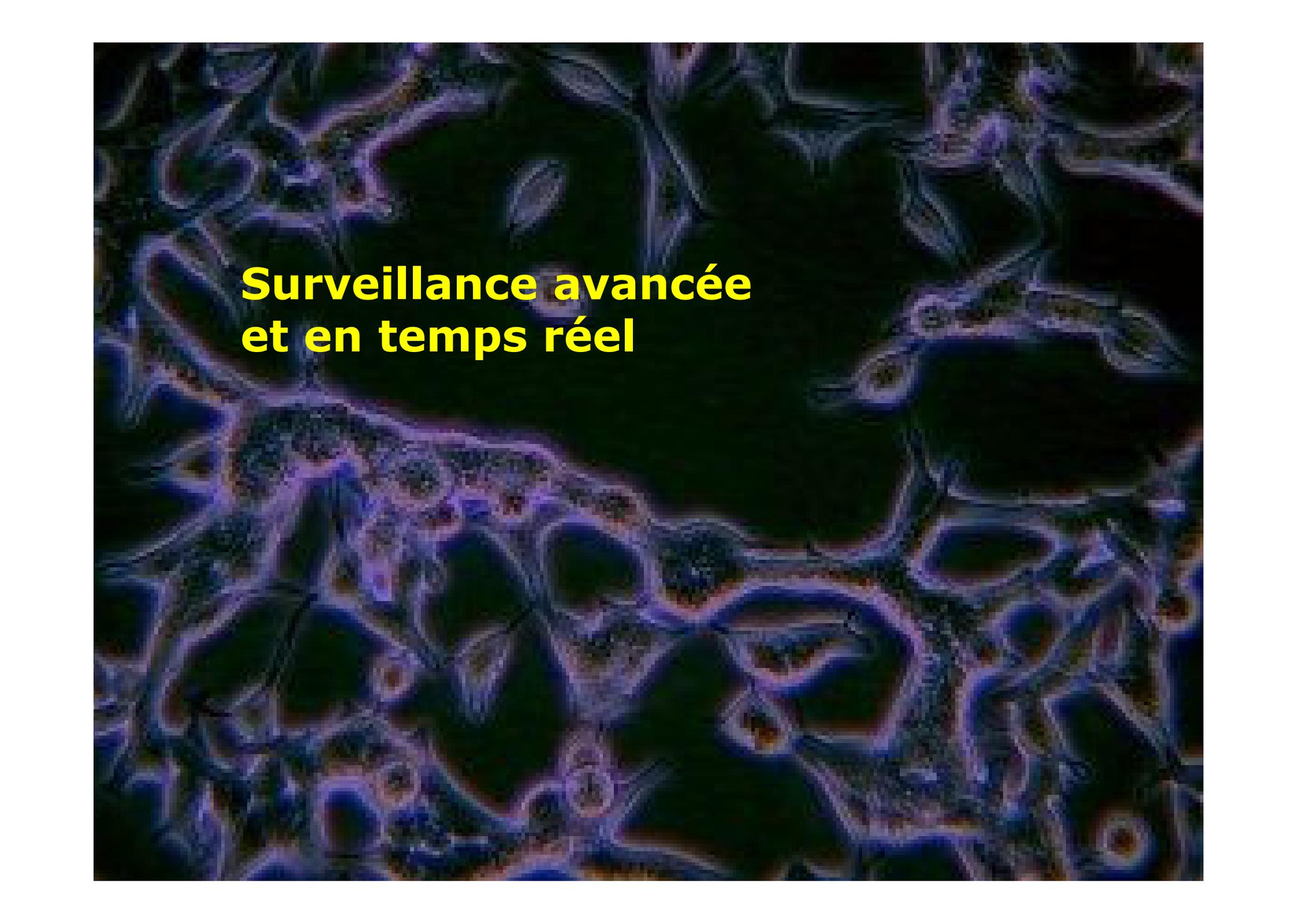


- Membranes **biomimétiques**
 - ✓ Aquaporin

➡ **Augmentation de flux attendue x 10-20**



Aquaporin



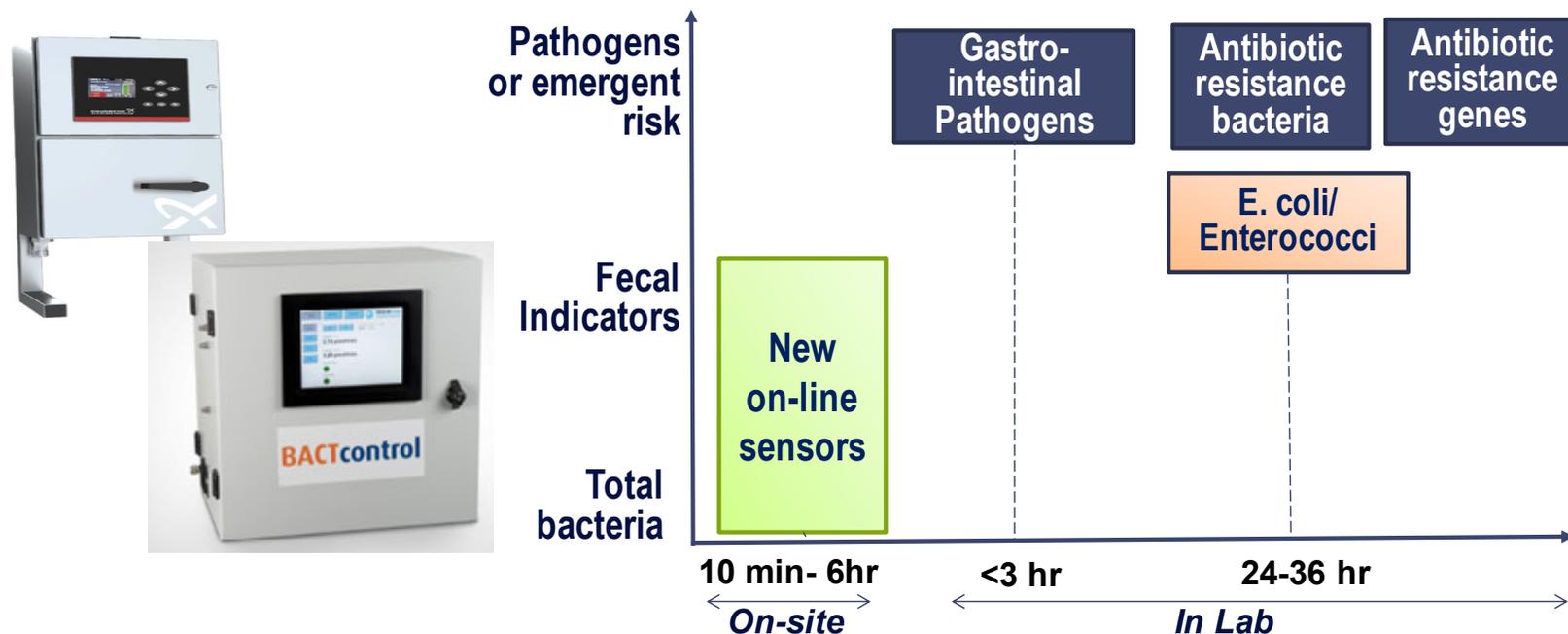
**Surveillance avancée
et en temps réel**

Progrès technique en matière de surveillance

Deux catégories principales

- ↪ Surveillance analytique (conformité) des paramètres physico-chimiques et microbiologiques, des micropolluants organiques, etc.
- ↪ Surveillance des performances des procédés (par exemple, tests d'intégrité des membranes, capteurs en ligne, etc.)

Exemple : Innovation dans la surveillance microbiologiques



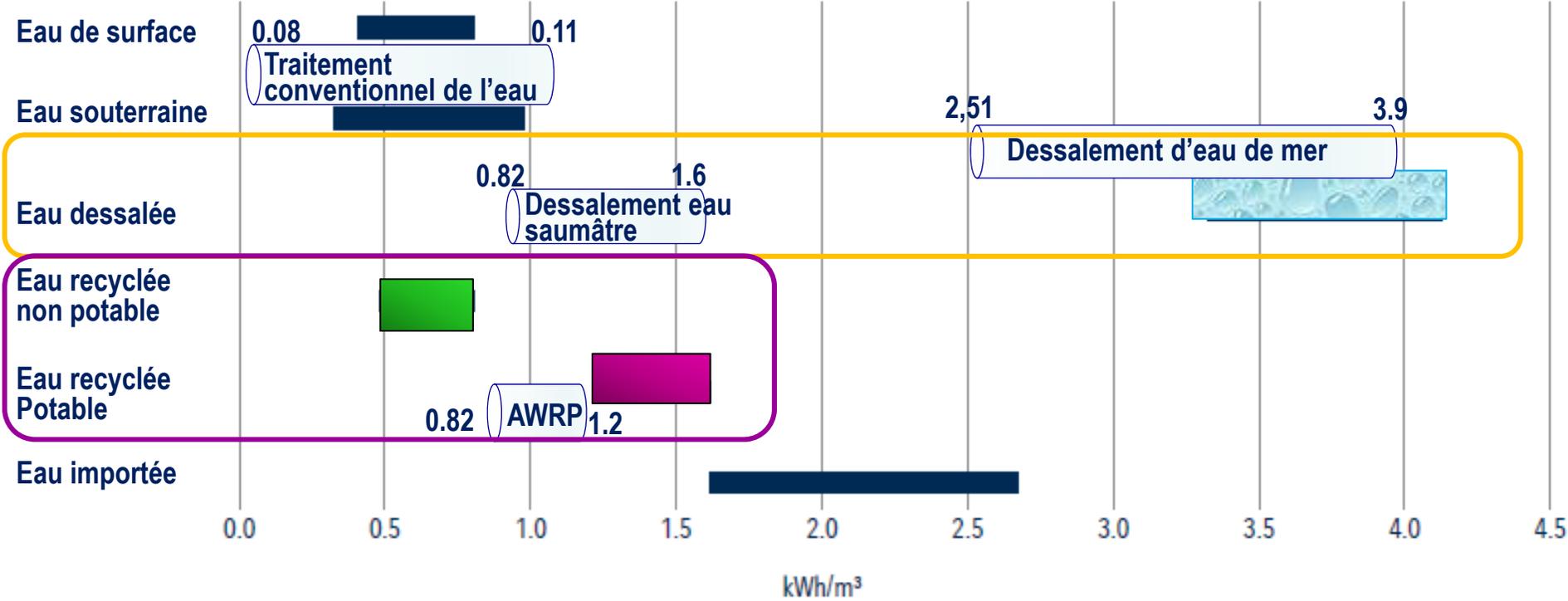
Source: Courtesy of SUEZ

LIEN EAU-ENERGIE

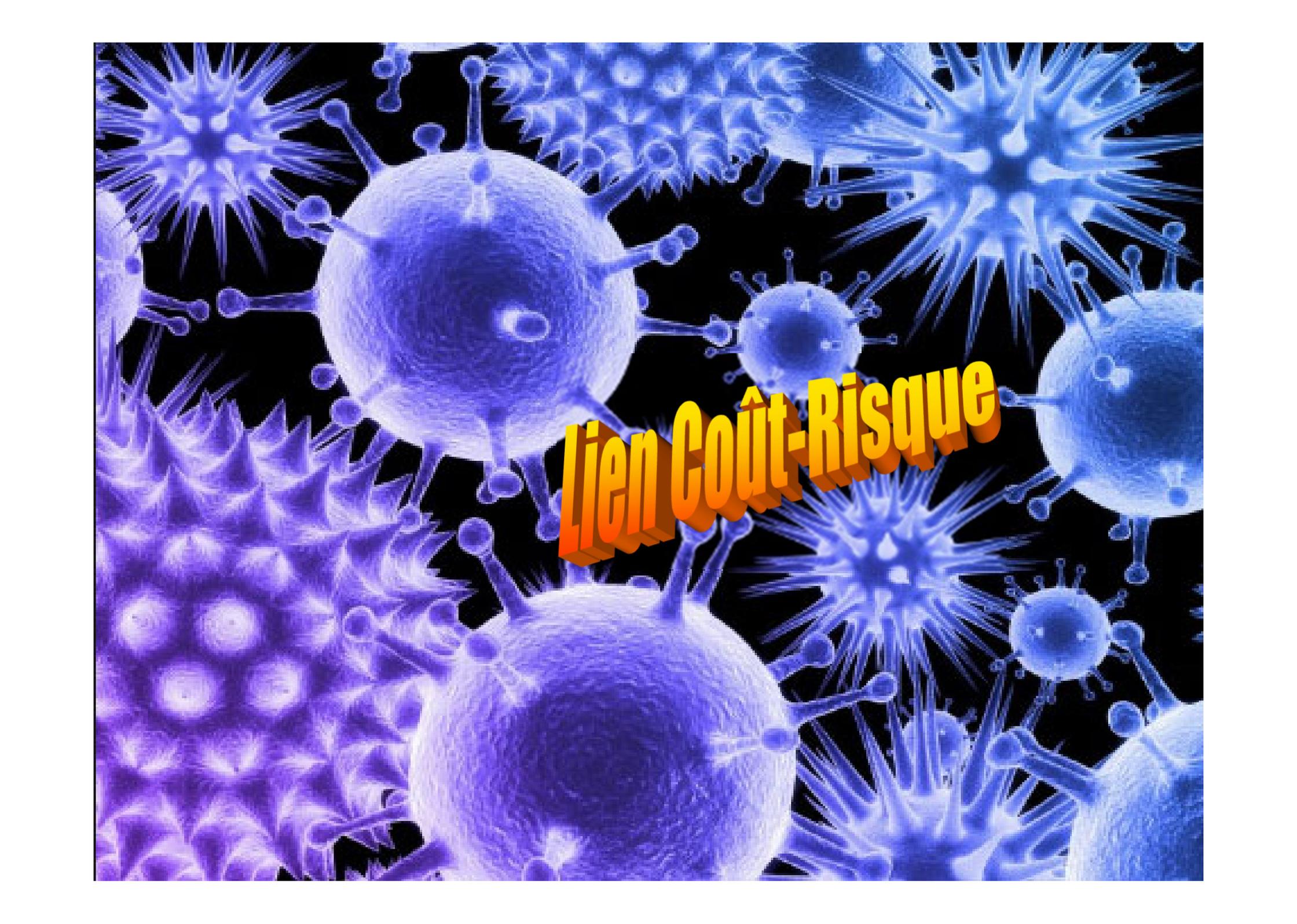


La demande énergétique pour l'approvisionnement en eau devrait tripler d'ici 2030 avec une forte augmentation des coûts carburant / énergie

Consommation d'énergie en fonction de la source d'eau



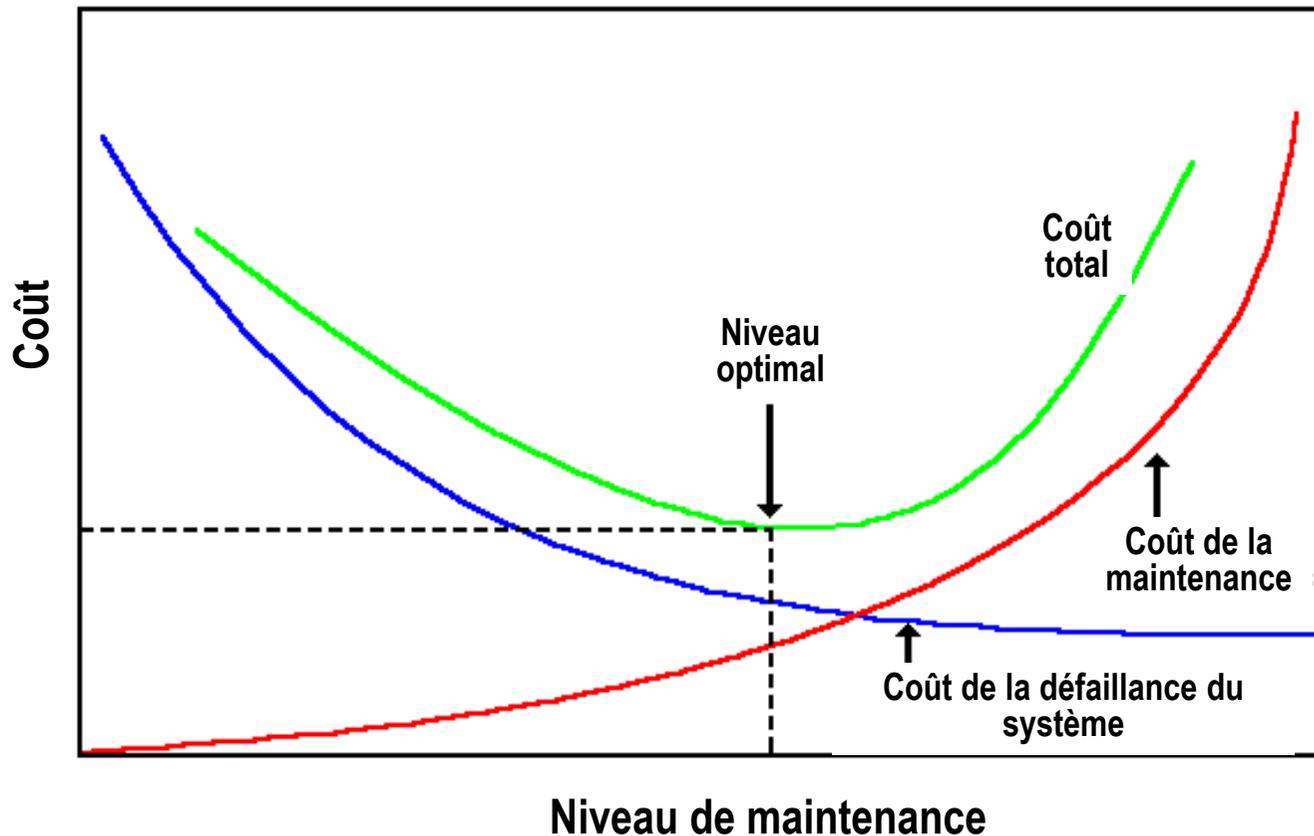
Source: Equinox Center (2010) ; Water Reuse Foundation, 2015

The background of the slide is a dense field of various viruses, rendered in shades of blue and purple. The viruses are depicted with different shapes: some are spherical with numerous spikes (resembling coronaviruses), others are more complex with multiple protrusions, and some are smaller and more uniform. The lighting creates a sense of depth, with some viruses appearing more prominent than others.

Lien Coût-Risque

Vers un risque zéro?!

- Tendances vers des normes et réglementations de plus en plus strictes
- Tout risque de défaillance doit être minimisé à un coût raisonnable

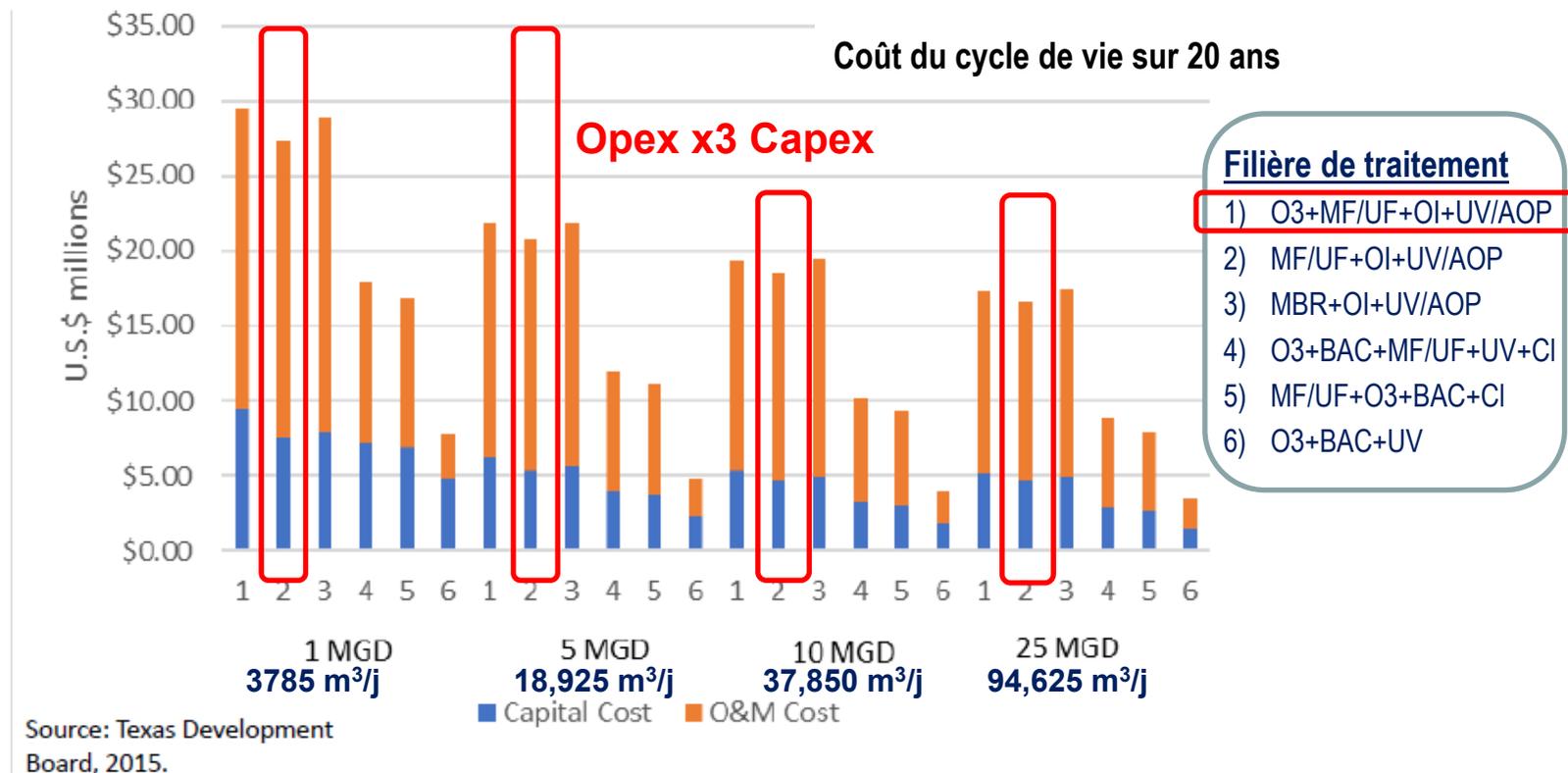


Coût d'exploitation et de maintenance (Opex) du traitement avancé

L'Opex augmente avec le niveau de traitement

Exemples du coût du traitement avancé

- ✓ Californie: 1,22-1,78 \$/m³ pour une réutilisation directe en eau potable, capacité de traitement < 34 000 m³/j; 0,89-1,3 \$/m³ pour grandes installations
- ✓ Texas: 0,105-1,00 \$/m³ en fonction de la taille et du traitement avec Opex qui atteint 39 to 82% du coût du cycle de vie





Conclusions

- La réutilisation de l'eau devient un **élément important de l'économie circulaire** dans les régions à déficit hydrique et les zones urbaines
- Le défi majeure est de réconcilier les exigences réglementaires, les avancées scientifiques et la faisabilité sur le terrain des filières de réutilisation (technologies, surveillance, coûts d'exploitation, financement...)
- **Une approche multidisciplinaire est nécessaire pour le développement de nouveaux outils et technologies**
 - Assurer une application rapide (mise en échelle, fiabilité de fonctionnement, facilité d'exploitation, coût du cycle de vie, etc.)
 - Réduire l'empreinte énergétique
 - Améliorer l'acceptabilité, la rentabilité et la synergie entre les domaines scientifiques (génie des procédés, sociologie, économie, etc.)
 - Maîtriser les risques





Milestones in Water Reuse

The Best Success Stories

Valentina Lazarova, Takashi Asano,
Akica Bahri and John Anderson



Merci !

valentina.lazarova@orange.fr