

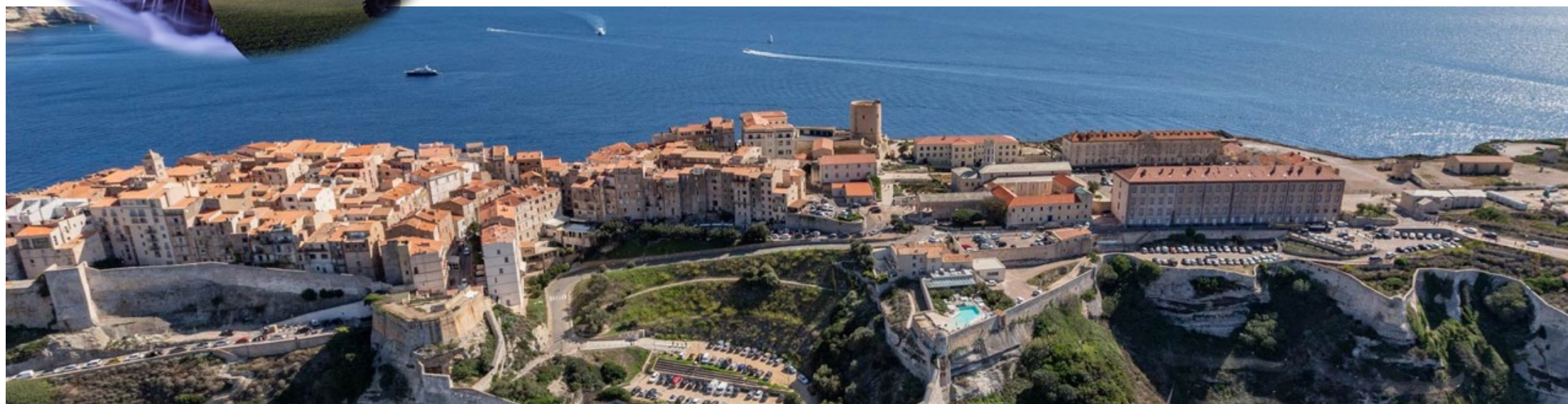


ReUse – Rencontres de Bonifacio – Mardi 13 juin 2023

Les enjeux technico-économiques de la réutilisation de l'eau

Valentina LAZAROVA

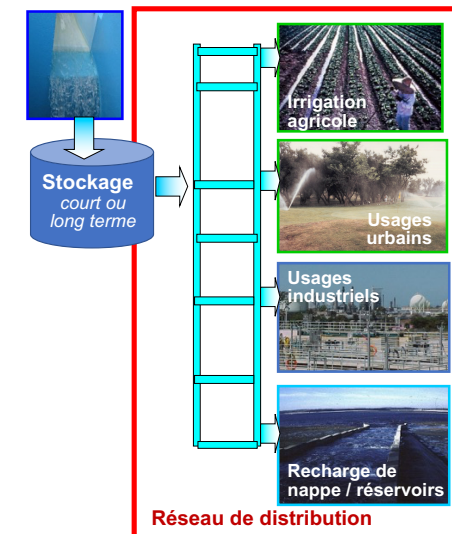
Water Globe Consultants, France





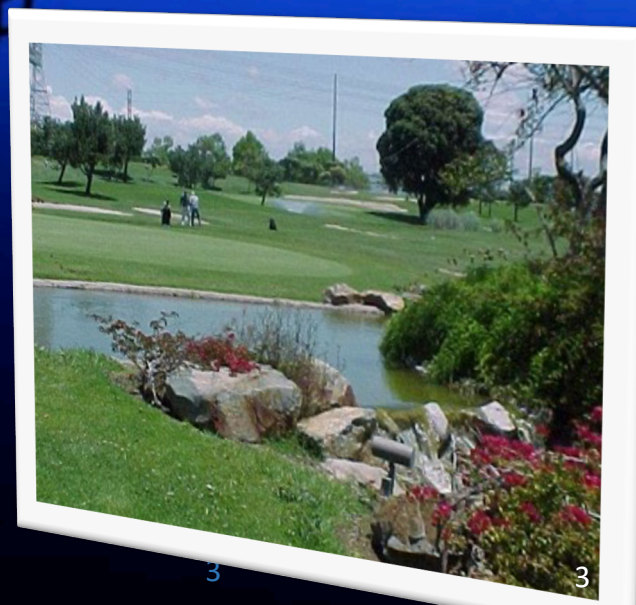
Points clés à retenir

- **Etat de l'art de la réutilisation de l'eau au niveau mondial**
 - ✓ Une pratique éprouvée pour tous les usages avec un niveau élevé de maturité et des bénéfices reconnues, y compris pour la potabilisation
 - ✓ Une tendance globale de développement avec des solutions locales
 - ✓ La force motrice et l'initiative viennent majoritairement des autorités locales et des usagers
- **Les technologies de traitement existantes permettent de produire toute classe d'eau recyclée en fonction de l'usage**
- **La sécurité sanitaire est assurée dès que la qualité de l'eau est bien appropriée pour l'usage et bien contrôlée (absence de problèmes signalés)**
- **Les freins majeurs sont :**
 - ✓ Réglementations de plus en plus sévères (principe de précaution) sans prise en compte du retour d'expérience, la faisabilité technico-économique, l'empreinte énergétique et la facilité d'exploitation
Note: Prédominance d'installations de faible taille
 - ✓ Prix de l'eau recyclée pas compétitif par rapport au prix de l'eau subventionnée
 - ✓ Bénéfices économiques et environnementales (majoritairement non monétaires) non évaluées

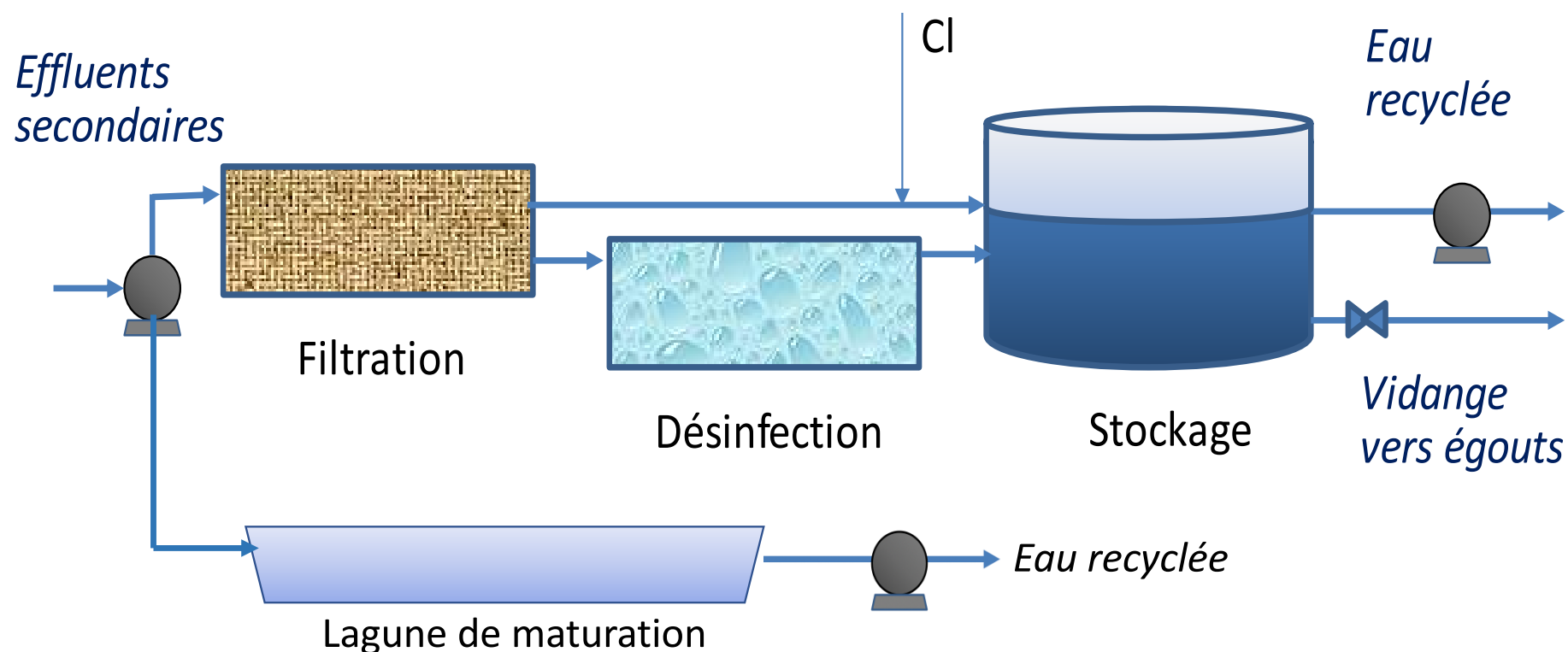


Les filières de réutilisation de l'eau

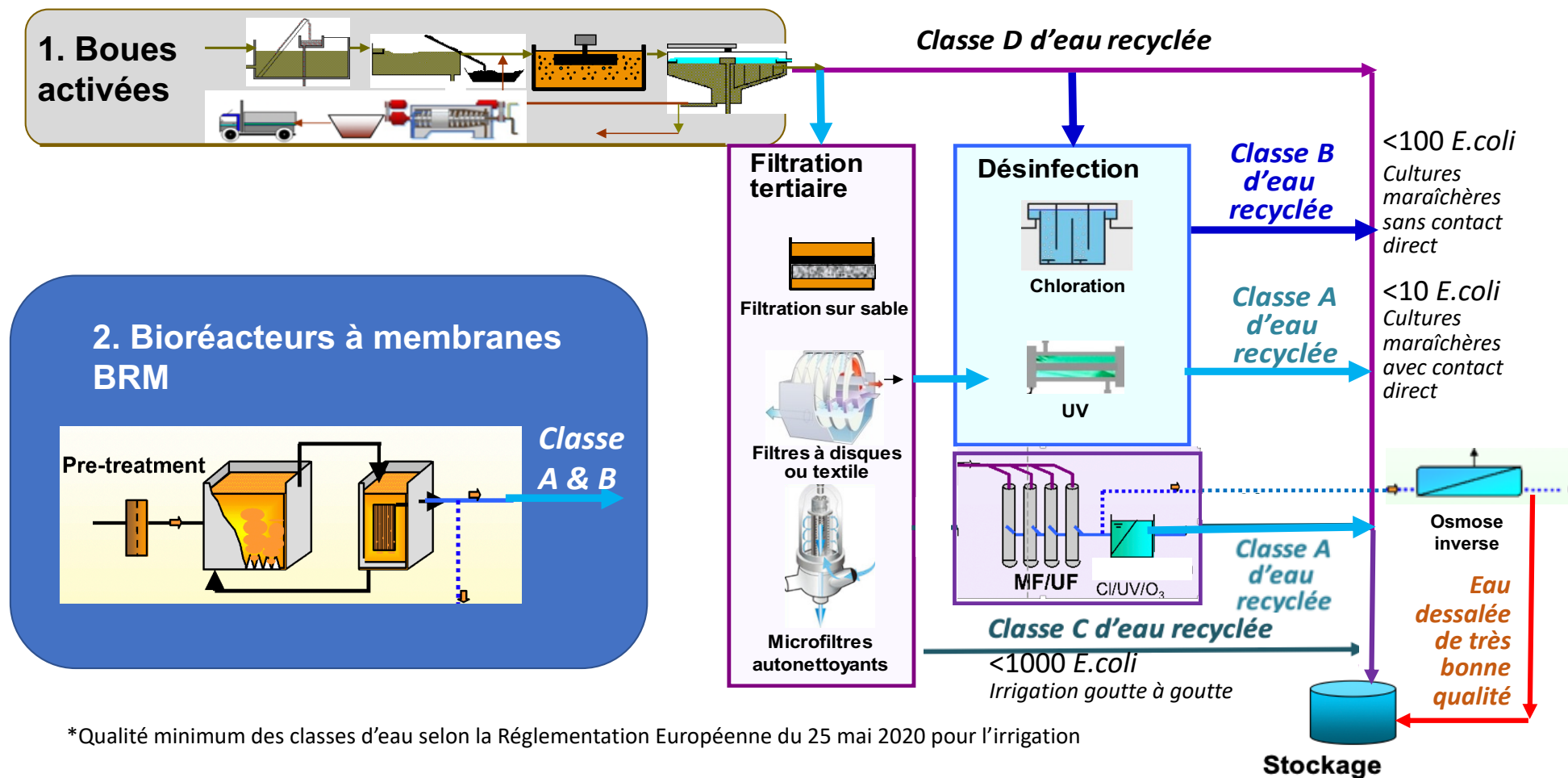
Lazarova – Les enjeux technico-économiques



Filières - types de traitement tertiaire conventionnelle pour l'affinage des effluents secondaires avant réutilisation

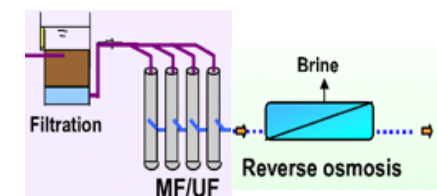
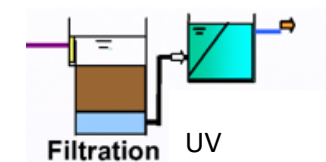
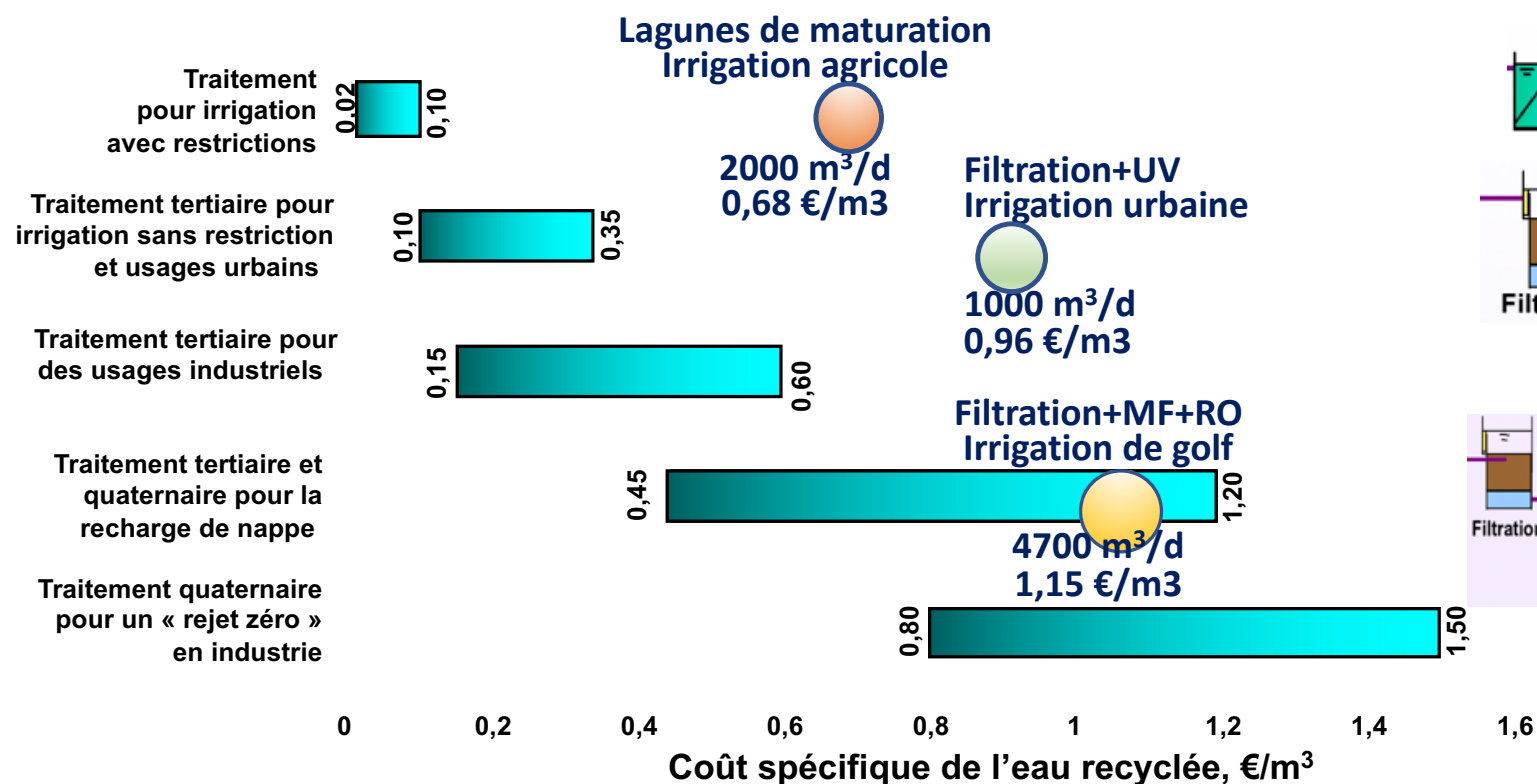


Affinage supplémentaire des effluents secondaires



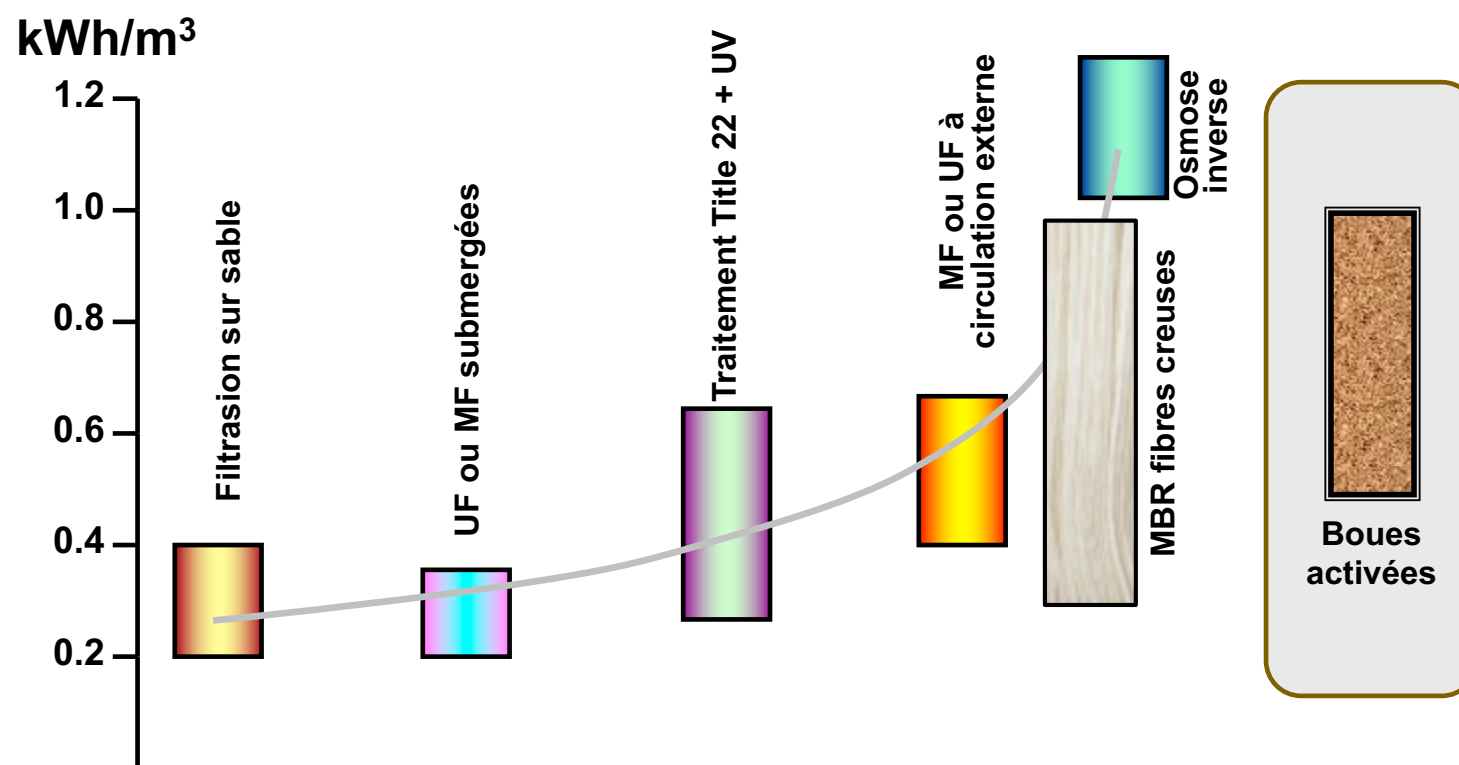
Quelle filière et à quel coût?

- Coûts typiques de l'expérience mondiale pour des installations de 40 000 m³/j comparés à quelques exemples en France et en Espagne



Empreinte énergétique des filières

- Exemples de consommation énergétique des filières de traitement





Les défis technico-économiques de la mise en conformité

Interactions

Eau-Energie

Filières de traitement tertiaire : Lagunage

- 25 installations des 58 recensés en 2019 par CEREMA
- 50% (13 cas) utilisent uniquement des lagunes de maturation pour désinfection et stockage

Défis potentiels de mise en conformité

- Classe C (<1000 *E.coli*/100 mL) - problèmes pour garantir des limites plus sévères de désinfection (Classe B <100 *E.coli*/100 mL)
- Avantage du stockage à prendre en compte?
- Convient parfaitement pour les installations de faible taille (faible Opex)



ReUse – Rencontres de Bonifacio – Mardi 13 juin 2023

Mise en conformité des projets existants - lagunage Irrigation agricole, Noirmoutier (depuis 1990)

Bénéfices bien reconnues et démontrées

- Qualité de la production agricole
- Intérêt environnemental

● Intérêt économique

❖ Pour les agriculteurs

- ✓ Irrigation avec eau potable **1 €/m³**
- ✓ Irrigation avec de l'eau recyclée **0**

❖ Pour la collectivité

- ✓ 50% d'économie sur les infrastructures
- ✓ Développement des activités économiques (conchyliculture, tourisme...)



Défis de mise en conformité

- La filière de traitement
 - ✓ Problèmes pour garantir la limite sévère de désinfection
 - ✓ Avantage du stockage?
- Solutions ?!
 - ✓ Appliquer des crédits d'abattement complémentaires
 - ✓ Ajouter une filtration-désinfection (économiquement non viable)
 - ✓ Arrêter la production agricole et la conchyliculture ?!

Filière conventionnelle de traitement tertiaire

Désinfection avec ou sans pré-filtration

- 19 cas des 58 installations en France sont équipées de désinfection UV ou Cl
- dont 80% après filtration tertiaire (CEREMA, 2019)

Défis de mise en conformité

- Classes A & B -Ajout d'un filtration /amélioration
- Difficile de démontrer les abattements log
- Evaluation des risques sanitaires
- Suivi et contrôle de *Legionella* spp.



ReUse – Rencontres de Bonifacio – Mardi 13 juin 2023

Mise en conformité des projets existants – Filtration + UV Irrigation du golf Sainte Maxime, 18 trous, 65 ha (depuis 2006)

La Charte Nationale Golf et Environnement

- bénéfices reconnues

- Economie de 12% d'eau potable
- Diminution de 20% des fertilisants

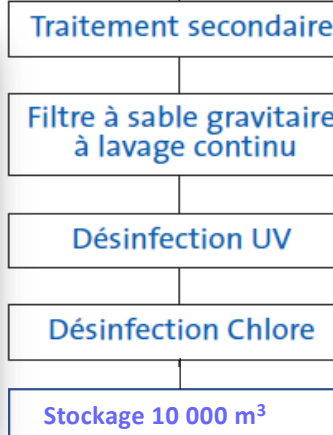
Solutions mise en œuvre

- Traitement tertiaire de 2000 m³/j (23% de la capacité totale de la station d'épuration)
- Partenariat public-privé et subventions du Conseil Général et de l'AERMC
- Réduction du prix de l'eau du golf pour compenser les investissements réalisés (~1,6 M€; réseau 3,6 km)

Défis de mise en conformité

- La filière de traitement est conforme, mais difficile de démontrer les abattements log
- Evaluation des risques sanitaires
- Suivi et contrôle de *Legionella* spp.

Lazarova – Les enjeux technico-économiques



	Avant 2007	Après 2007 avec reuse
Apport en eau	Irrigation (eau potable) ~ 280 000 m ³ Pluviométrie : 618 mm	Irrigation en eau usée ~ 300 000 m ³ Economie -12 % Eau Potable Pluviométrie 2007 : 341 mm
Apport en fertilisant	25 à 35 g /m ² - 2 à 3 fois / an	- 20% des doses fertilisantes
Suivi analytique	Sol	Proposition d'un suivi adapté
	Eau	Suivi mensuel : microbiologie suivi trimestriel : physico-chimie
Travail mécanique des sols	Aération biannuelle	plus important (3 à 4 fois/an) plus profond
Gestion du stockage des eaux d'irrigation		Gestion plus régulière
Méthode d'arrosage	à partir d'observations visuelles	Optimisation méthode agronomique (station météo, sonde hydrométrique)



Filières de traitement tertiaire avancé par des procédés à membranes

Les nouveaux projets français

- 5 cas des 58 installations en France ont des procédés membranaires (CEREMA, 2019)

Note: La majorité des projets présentés depuis 2010 pour des usages d'irrigation d'espaces verts et mixtes (industriels) ont été abandonnés (environ 30 projets)

Les nouveaux projets en France

Irrigation du golf d'Agde, 27 trous, 78 ha (depuis 2020)

● Filière de traitement et performance

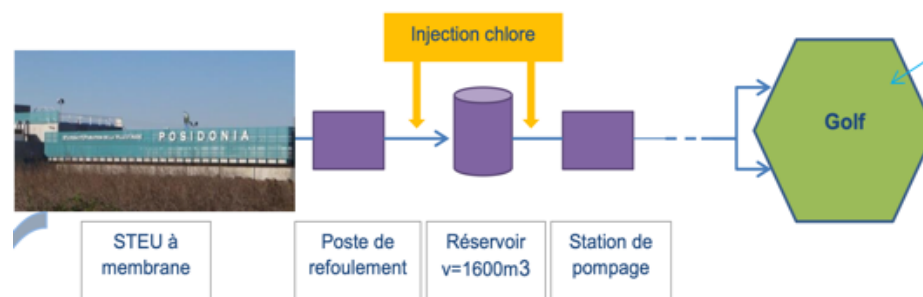
- ✓ BRM + chloration, 52 000 EH (300 m³/h), 3800 m³/j
- ✓ Réseau de distribution de 3 km, stockage 2600 m³

● Coûts et bénéfices

- ✓ 80% de subventions
- ✓ Economie d'eau de 200 000 m³/an (80% des besoins)
- ✓ Economie de 3500 kg/an de fertilisants

● Défis de mise en conformité

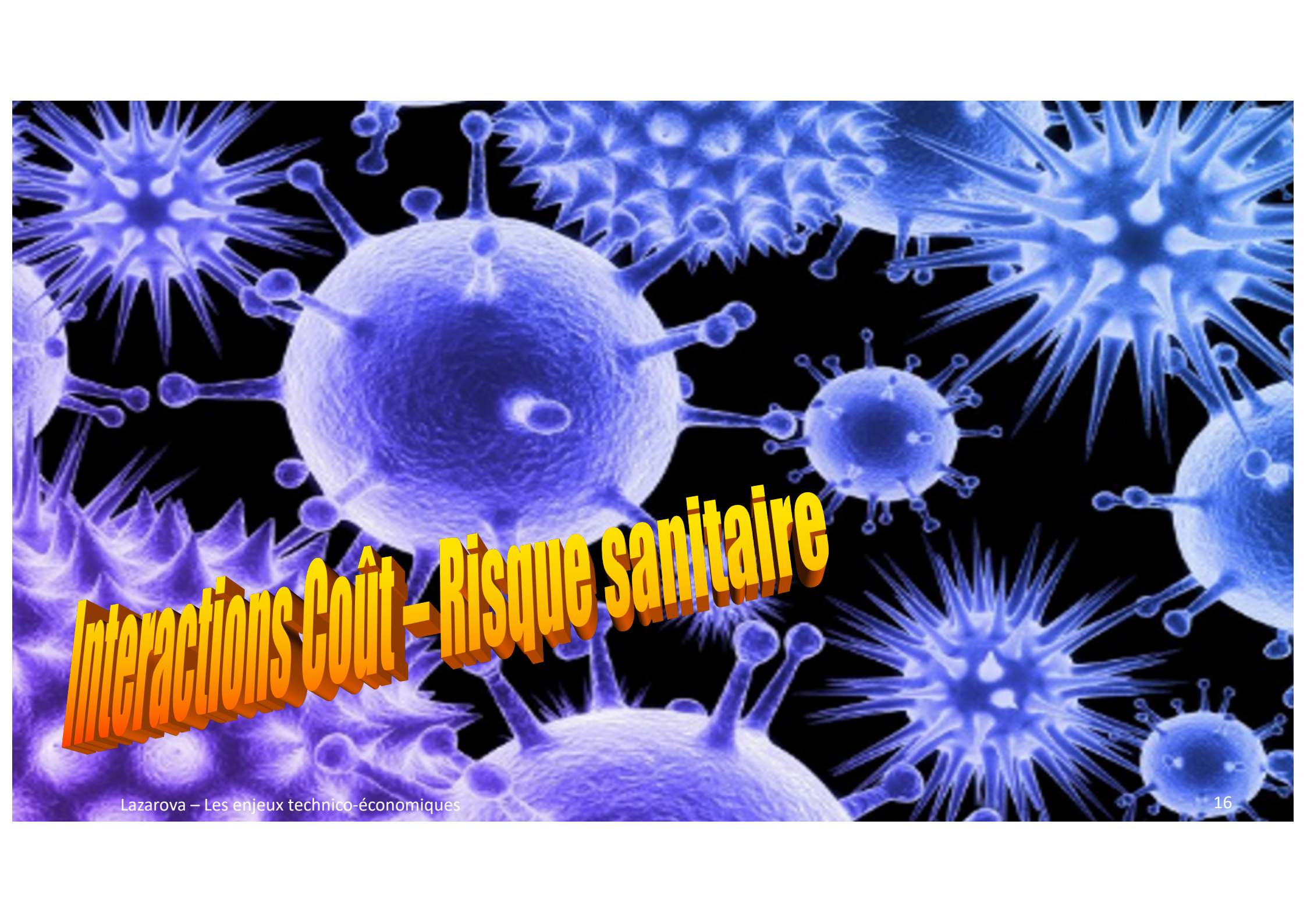
- ✓ Difficultés de démontrer l'abattement log, même pour les 4 log de spores et de phages
 - ✓ faible charge en entrée et très faibles concentrations en sortie
- ✓ Evaluation des risques sanitaires (quantitative ou qualitative?)
- ✓ Suivi et contrôle de *Legionella spp.*
 - Note: *Legionella spp* est présente dans les réservoirs et canaux d'irrigation avec de l'eau de surface





Avantages et inconvénients des filières de traitement pour la réutilisation de l'eau

	Type de filière	Avantages	inconvénients
1	Lagunes de maturation (lagunage)	Stockage et désinfection naturelle Faible Opex et facilité d'exploitation « Parfait » pour petites installations	Classe C – difficile à maintenir la classe B Développement d'algues, contamination par les oiseaux migrateurs
2	Filière conventionnelle de filtration plus désinfection UV/O ₃ /Cl	Production d'eau de classes A & B Procédés éprouvés et coûts accessibles Possibilité d'arrêt hors saison d'irrigation	Sous-produits de chloration à doses élevées Coût énergétique de l'ozonation/destruction O ₃ Devenir des lampes UV usagées
3	BRM plus désinfection UV/Cl	Production d'eau recyclée de classe A Elimination complémentaire des micropolluants organiques	Capex et Opex élevés Exploitation plus complexe Evolution du marché PVDF (polyfluorure de vinylidène)?!
4	Filtration UF/MF plus désinfection UV/Cl	Production d'eau recyclée de classe A	Nécessité de prétraitement par filtration Capex et Opex élevés Consommation énergétique élevée Exploitation plus complexe Nécessité de maintenir le fonctionnement même en absence de demande d'eau recyclée



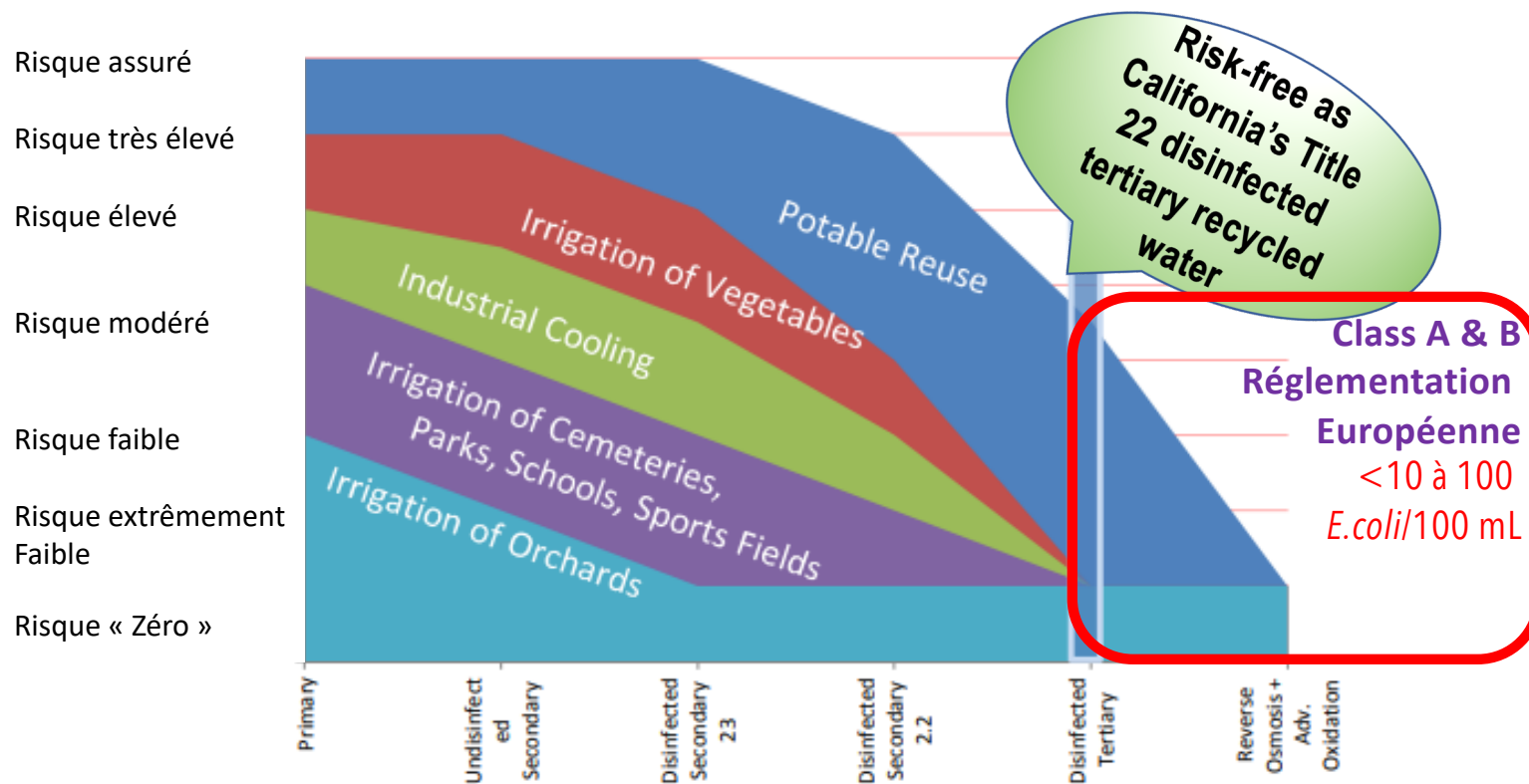
Interactions Coût – Risque sanitaire



ReUse – Rencontres de Bonifacio – Mardi 13 juin 2023

Comment assurer la sécurité sanitaire de l'eau recyclée

Risque, qualité de l'eau à réutiliser et filière de traitement



Niveau qualitatif du risque associé à chaque niveau de traitement et pour chaque type de réutilisation de l'eau (expérience américaine)



ReUse – Rencontres de Bonifacio – Mardi 13 juin 2023

Expérience mondiale – Australie

Irrigation de cultures maraîchères en Adélaïde (depuis 1999)

- Le **jardin maraîcher d'Australie** - irrigation sans restriction de cultures maraîchères
- Capacité 120 000 m³/j (lagunes maturation + coagulation + flottation/filtration DAFF + CI)



<10 *E.coli*/100 mL (2006)



Défis de mise en conformité

- **Traitement** : la filière de traitement tertiaire existante a été **conservée**
- Solution : étude d'évaluation **qualitative** des risques sanitaires
 - ✓ **Démonstration théorique** d'abattement de
 - >5 log pour les protozoaires et de
 - >6 log pour les bactéries et virus avec prise en compte de barrières complémentaires



Expérience mondiale – la Californie

Irrigation de cultures maraîchères à Monterey (depuis 1998)

- **Le jardin maraîcher** de la Californie et des Etats Unis
 - ✓ Capacité 120 000 m³/j ; réseau de distribution de 74 km
 - ✓ Irrigation de **4900 ha de cultures maraîchères consommées crues**
- **Règlementation très sévère pour l'irrigation sans restrictions**
 - ✓ <2,2 coliformes totaux/100 mL et turbidité <2 NTU (2000)
 - ✓ Traitement tertiaire Title 22 pour désinfection « totale » (coagulation/floculation + filtration + Cl)
- **Contrôle des risques sanitaires**
 - ✓ **Exigences technologiques** établies à partir d'études d'évaluation des risques (sécurité sanitaire équivalente à celle de l'Australie 2006)
- **Bénéfices évaluées et reconnues**
 - ✓ Meilleure solution pour **soutenir le secteur agricole** (3 milliards \$/an) et le **tourisme** (2 milliards \$/an)
 - ✓ Le marché n'a pas été affecté par le type d'eau d'irrigation utilisée
 - ✓ **Incitations économiques** - **coût total de l'eau recyclée 0,24 \$/m³ et prix de vente 0,013 \$/m³** (subventions fédérales et locales)

Lazarova – Les enjeux technico-économiques



<2,2 CT/
100 mL (2000)



ReUse - Rencontres de Bonifacio



MAIRIE DE BONIFACIO
PALAZZU PUBLICU
bonifacio-mairie.fr



ReUse – Rencontres de Bonifacio – Mardi 13 juin 2023

Expérience mondiale – Espagne

Irrigation de cultures maraîchères à Vitoria (depuis 1996)

- Traitement tertiaire 35 000 m³/j (coag/floc/filtration/désinfection)
- Irrigation de cultures à haute valeur agricole, **cultures maraîchères pour l'export**
- Aucun effet négatif sur la santé n'a été observé
- Bénéfices - **Augmentation significative du niveau de vie des fermiers** => passage d'une agriculture sans irrigation (subventions EU) à une agriculture moderne (approche business)
- Construction d'un réservoir de 7 000 000 m³ uniquement pour le stockage de l'eau épurée en hiver

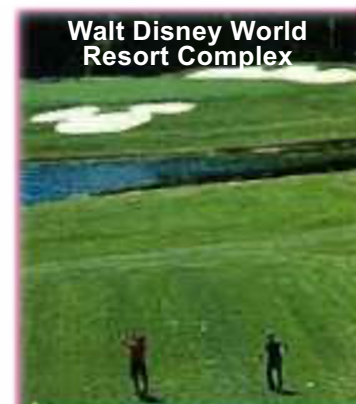




Expérience mondiale – la Floride

Leader mondial de la réutilisation pour l'irrigation d'espaces verts et de golfs (depuis 1980s)

- Capacité de traitement tertiaire de **9,2 millions m³/j** d'eau recyclée, e.g. **87%** de la capacité totale de traitement des eaux usées (données 2021)
- Volume des eaux usées recyclées de **3,4 millions m³/j**, dont 37% du volume total pour l'irrigation de **2727 ha de cultures maraîchères** (37% de la surface totale en irrigation agricole) et d'espaces verts avec accès ouvert au public
 - ✓ **512 golfs** (équivalent à 75% de la demande en eau d'irrigation)
 - ✓ **533 286 espaces verts résidentiels** (40% de la demande)
 - ✓ **1160 parcs et 405 écoles** (60%)
- Exigences réglementaires et contrôle des risques sanitaires
 - ✓ Traitement tertiaire - **filtration plus désinfection** (Cl ou UV)
 - ✓ Coliformes fécaux **en dessous de la limite de détection** dans **75% des échantillons** sur 30 jours (max 25 CF/100 mL)
 - ✓ Concentration max des MES - 5 mg/L
 - ✓ Chlore résiduel de 1 mg/L dans le réseau urbain
 - ✓ **Contrôle stricte des interconnections**





Les Risques de la Réutilisation de l'Eau



ReUse – Rencontres de Bonifacio – Mardi 13 juin 2023

Les Risques principaux de l'irrigation avec de l'eau réutilisée et des autres usages non-potables

Constituant ayant un impact	Impacts sur les cultures	Impact sur les sols	Impact sur les eaux souterraines
Salinité élevée	Diminution des rendements	Salinisation	Dégradation de la qualité de l'eau
Sodium élevé (SAR)	Toxicité, brulure des feuilles	Diminution de la perméabilité	--
Chlorures élevés	Toxicité	--	--
Bore élevé	Toxicité	--	--
Pollution microbienne	Risque de santé pour les agriculteurs, consommateurs...	--	Risque pour la santé publique
Azote élevé	Meilleur rendement	--	Pollution de la ressource



ReUse Rencontres de Bonifacio



MAIRIE DE BONIFACIO
PALAZZU PUBLICU
bonifacio-mairie.fr



ReUse – Rencontres de Bonifacio – Mardi 13 juin 2023

Les risques agronomiques de l'irrigation avec de l'eau recyclée – la salinité



Problèmes de salinité dans un sol limoneux suite à l'irrigation avec de l'eau recyclée de qualité moyenne (EC_w 1480-1770 $\mu S/cm$; SAR_{adj} 8-10)
Source: Harivandi, 2007

● Risque majeur pour les zones littorales

- ❖ Cause principale - intrusion d'eau saline
- ❖ Solutions
 - ✓ Réhabilitation des canalisations d'eaux usées (étanchéité)
 - ✓ Traitement partiel par osmose inverse
 - ✓ Dilution avec des ressources naturelles`

● Contrôle des risques

- ❖ Bonnes pratiques d'irrigation avec des eaux usées traitées
 - ✓ Normes NF et ISO, publications FAO, manuels, livres, etc.



ReUse - Rencontres de Bonifacio



MAIRIE DE BONIFACIO
PALAZZU PUBLICU
bonifacio-mairie.fr

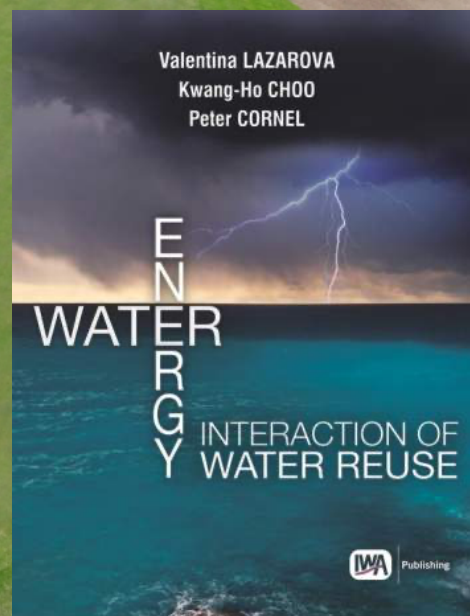
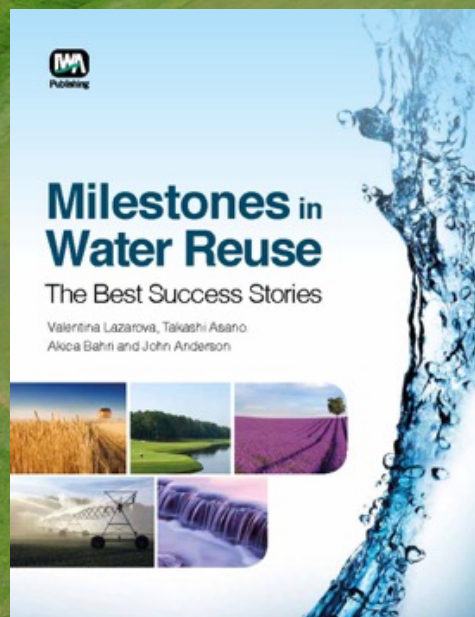


ReUse – Rencontres de Bonifacio – Mardi 13 juin 2023

Conclusions - gestion des risques de la réutilisation de l'eau

- Une **filière de traitement adéquate** et de **bonnes pratiques** d'irrigation (usage) permettent d'éviter/limiter tout risque pour la santé publique
- Les **micropolluants organiques** ne représentent pas un risque majeur pour l'irrigation et les autres usages non-potables – les filières de traitement existantes permettent d'éliminer la majorité des antibiotiques et des composés biodegradables et/ou adsorbables
- Les **risques agronomiques** (sols, cultures) posent des problèmes importants dans les zones littorales et/ou climat très sec (salinité) ou en cas d'irrigation avec des eaux industrielles traitées non appropriées
- Le composé le plus important en termes d'effets agronomiques indésirables est **la salinité** qui peuvent être limités à l'aide de **Codes de Bonnes Pratiques** agronomiques et d'application de l'eau réutilisée
- Les **bonnes pratiques d'exploitation des filières** de réutilisation sont également très importantes pour assurer la fiabilité du traitement, du stockage et de la distribution de l'eau réutilisée pour un contrôle efficace des risques

MERCI !



lazarovavalentina@yahoo.fr

