



# **Water Reuse – Etat des Lieux et Perspectives**

## **Réparer, Repenser, Réimaginer le Cycle de l'Eau**

**Akiça Bahri**

**Colloque REUSE « INRAE AFEID »**

**Société du Canal de Provence, 17 - 18 octobre 2022**

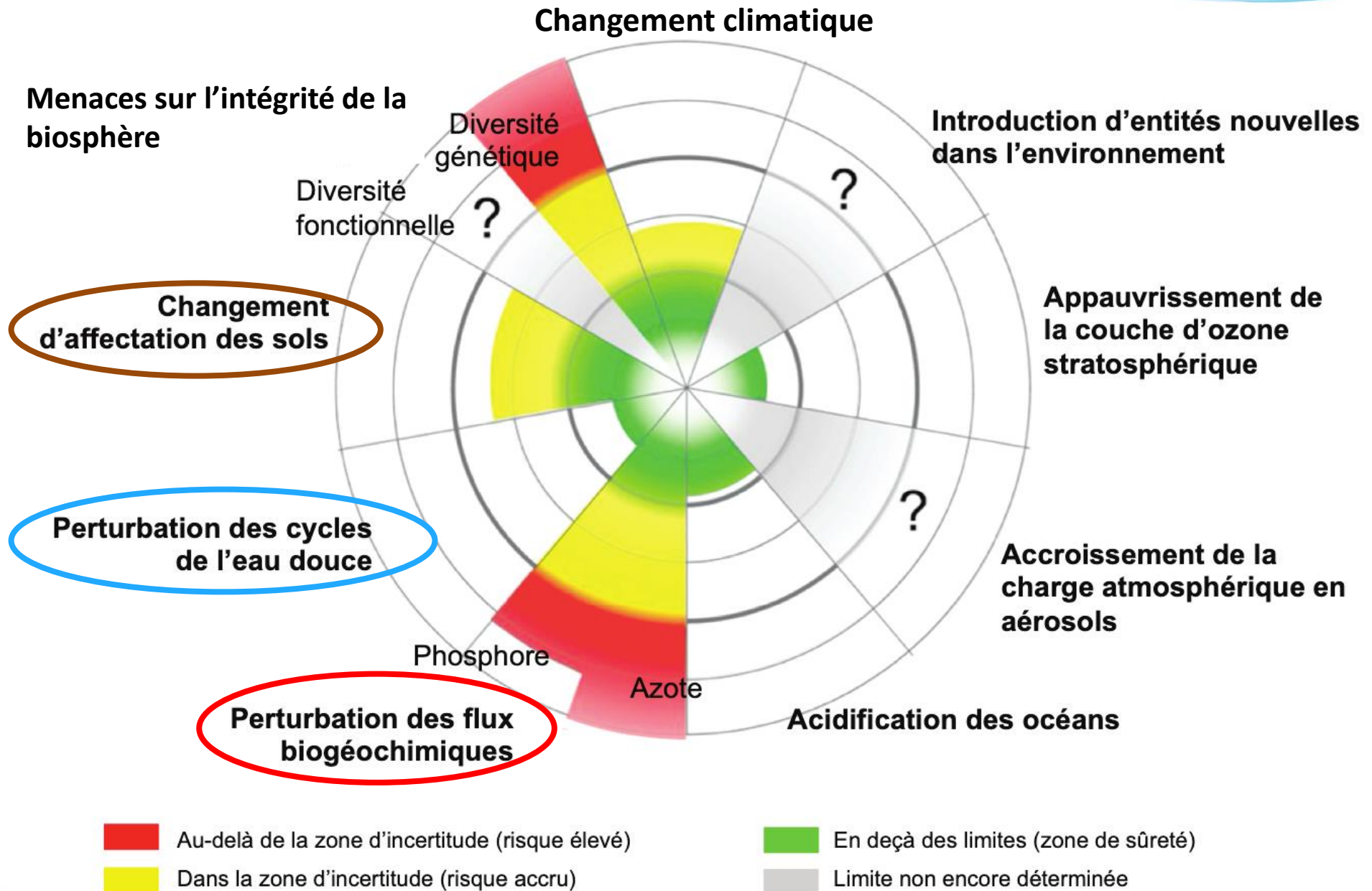
**Réutiliser l'eau : une révolution dans nos territoires pour un monde en transition**



# Plan

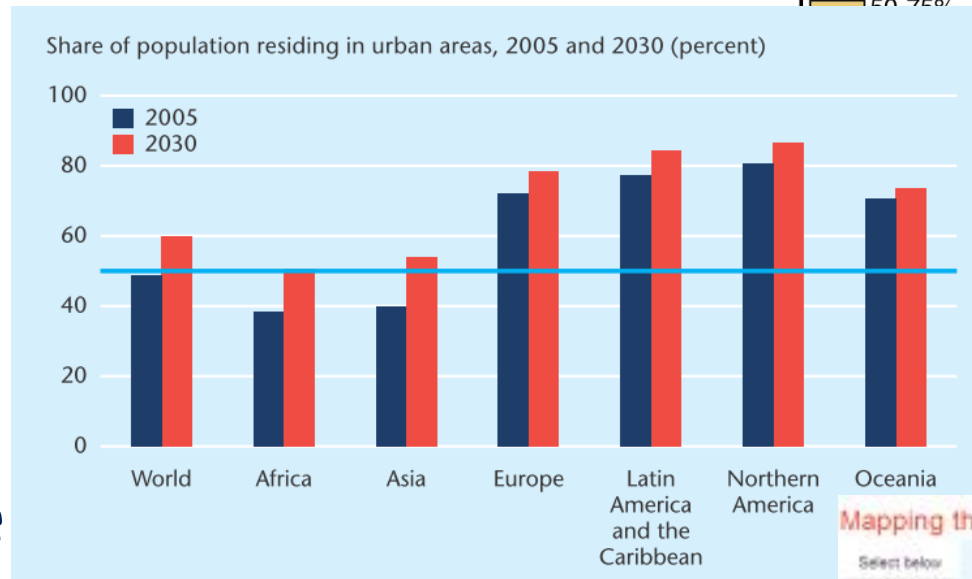
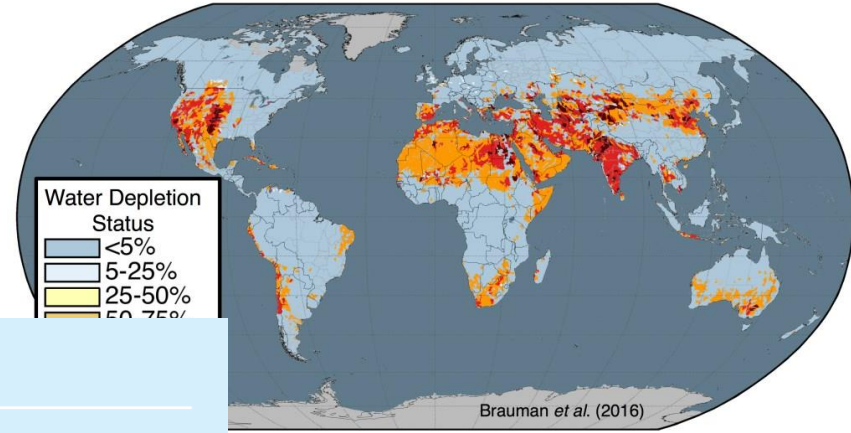
1. Introduction
2. Révolutionner l'assainissement et économie circulaire:
  1. Pour une récupération des ressources à la source – Réinventer les toilettes
  2. De la station d'épuration à la station de production de ressources
3. Exemples de Water Reuse
4. Principaux challenges
5. Gestion intégrée de l'eau dans les villes du futur et dans les territoires
6. Conclusion

# Limites planétaires de l'Anthropocène



# Water Reuse: La dimension “quantité d’eau”

- Pénurie d’eau
- Croissance démographique
- Urbanisation
- Changement climatique
- Production alimentaire
- Efficacité de l’eau
- Rendement énergétique
- Réglementation environnementale



## Mapping the Impacts of Climate Change

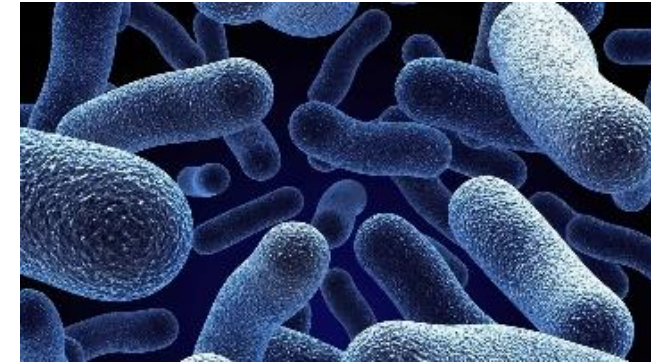




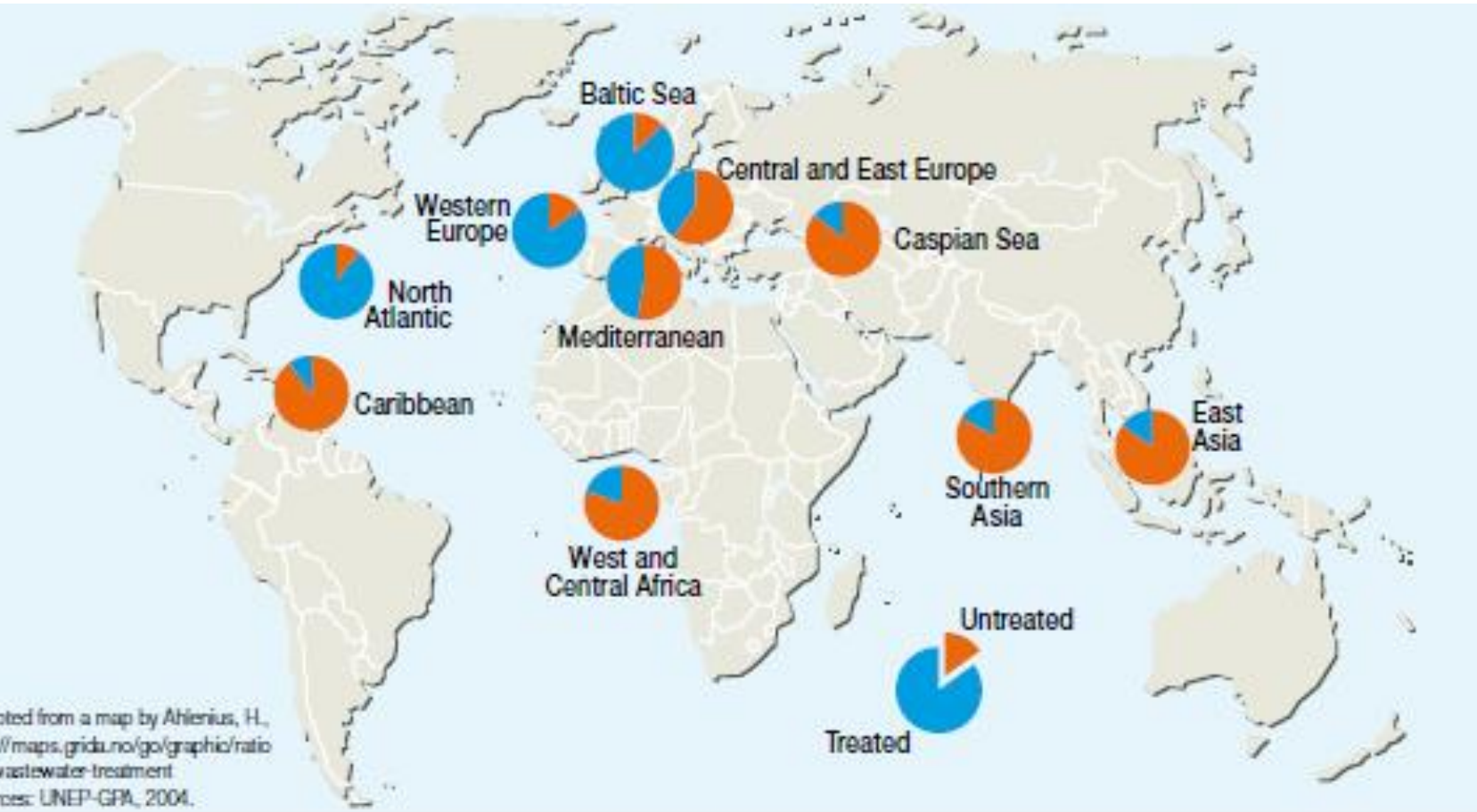
# Water Reuse: la dimension "qualité d'eau"

## Contaminants (émergents) :

- Agents pathogènes :
  - Bactéries, virus, protozoaires
  - Résistance aux antibiotiques
- Microparticules/microplastiques
- Produits chimiques organiques à l'état de traces :
  - Résidus pharmaceutiques
  - Produits de soins personnels et produits chimiques ménagers
  - Composés perturbateurs endocriniens
  - Sous-produits/Produits de transformation



# Plus de 80 % des eaux usées sont rejetées dans l'environnement non traitées et sont considérées comme une charge dont il faut se débarrasser

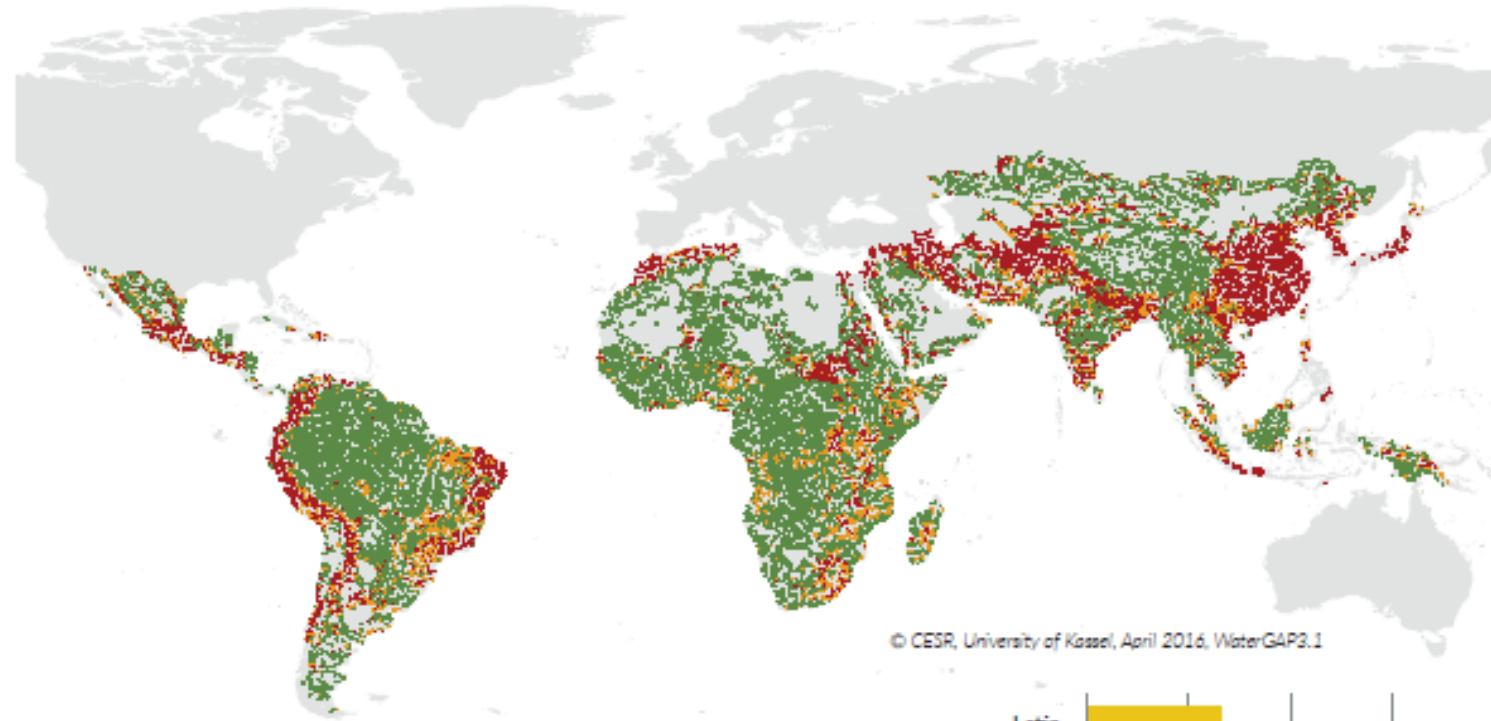


- Sur les 330 km<sup>3</sup>/an d'EU domestiques générés dans le monde (Flörke et al., 2013), plus de **80 % ne sont pas collectées ou traitées** (WWAP, 2012, Banque mondiale, 2020)
- Seulement 7 % du volume total d'EU généré traité à des niveaux avancés (GWI, 2009)

Ratio de traitement des eaux usées (eaux usées traitées / non traitées)



# Concentrations estimées dans les cours d'eau de coliformes fécaux (FC) pour l'Afrique, l'Asie et l'Amérique latine (Février 2008-2010)

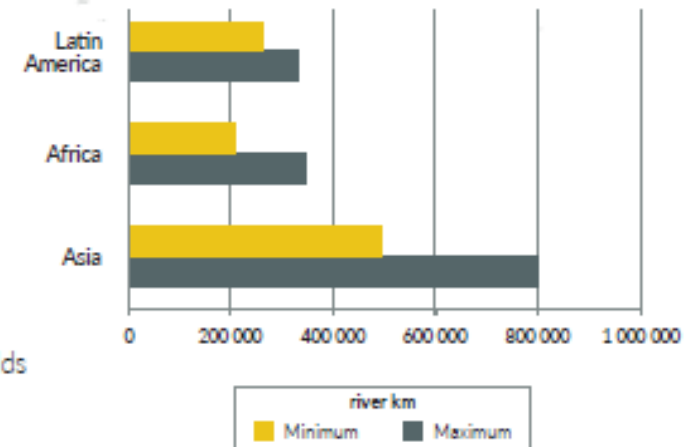


© CESR, University of Kassel, April 2016, WaterGAP3.1

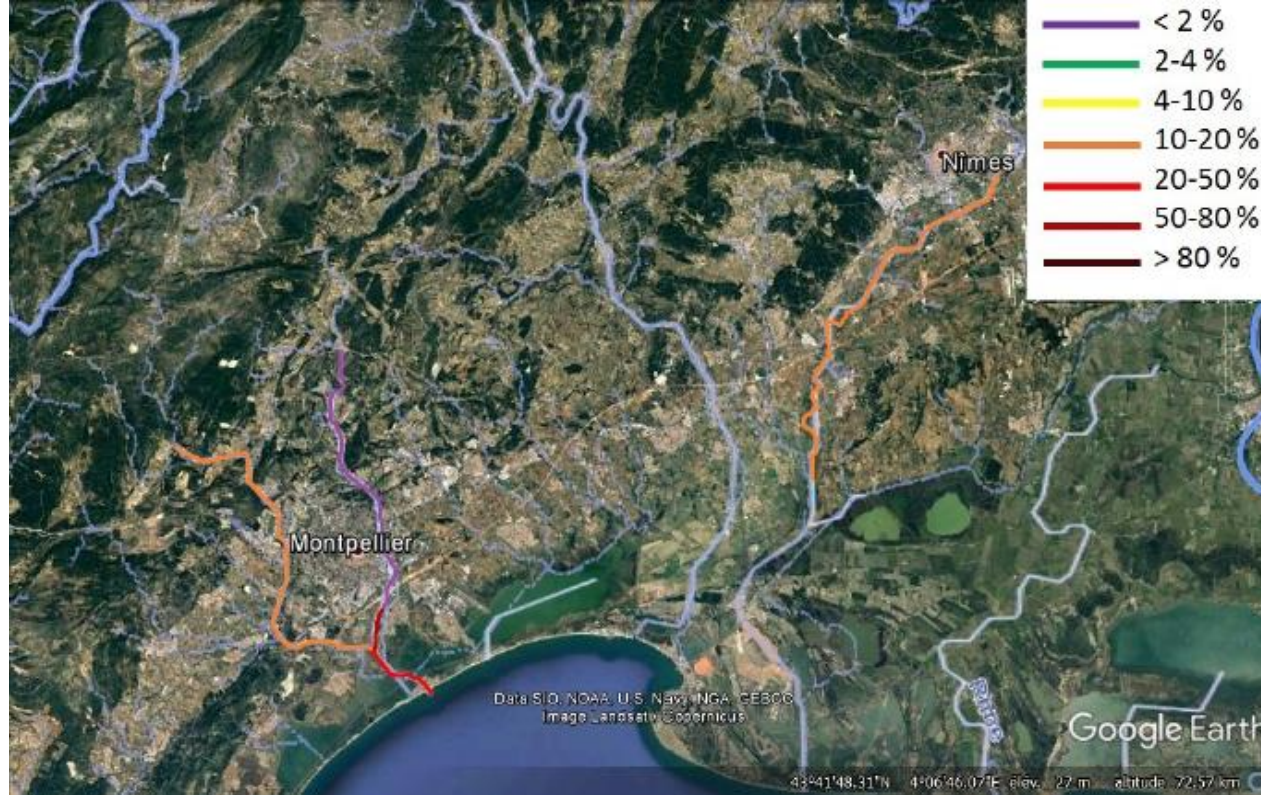
February 2008–2010  
FC [cfu/100ml]

- Not computed
- Low pollution ( $\leq 200$ )
- Moderate pollution ( $200 < x \leq 1000$ )
- Severe pollution ( $> 1000$ )

Notes: Low: Suitable for primary contact; Moderate: Suitable for irrigation; Severe: Exceeds thresholds



\* Bar charts show minimum and maximum monthly estimates of river stretches in the severe pollution class per continent in the period from 2008 to 2010.



**Estimation de l'impact des eaux usées sur certains tronçons des rivières dans les bassins du Vistre, de La Mosson et du Lez avec l'indication des taux de dilution**

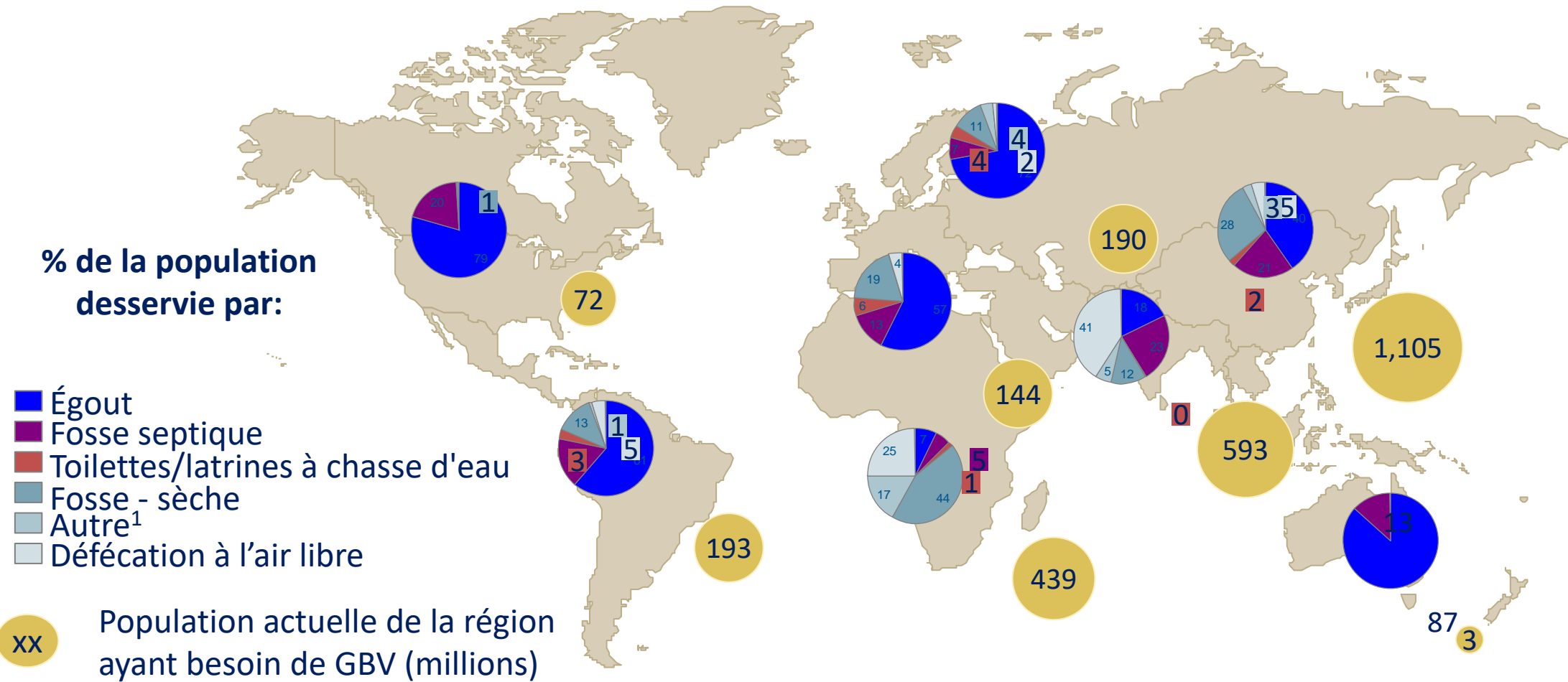
**Degré d'impact des eaux usées au niveau des stations de jaugeage des rivières Loir, Le Vistre, La Mosson et Le Lez pour l'irrigation avec des eaux de surface**

Surface Water Irrigation		Degree of wastewater impact (%)		
River	Gauging Station	Average	Maximum	Minimum
Loir	Trizay-lès-Bonneval (28)	1.7	23.8	0.1
	Saint-Maur-sur-le-Loir (28)	2.1	18.3	0.2
	Conie-Molitard (28)	2.6	7.3	1.4
	Saint-Hilaire-sur-Yerre (28)	0.8	4.0	0.1
	Romilly-sur-Aigre (28)	0.3	1.1	0.2
Montpellier-Le Vistre	Le Cailar (30) - Le Vistre	13.4	39.2	1.7
	Bernis (30) - Le Vistre	15.6	75.3	2.1
Montpellier-La Mosson	Saint-Jean-de-Védas (34) - La Mosson	13.8	248	2.3
Montpellier-Le Lez	Montpellier (34) - Le Lez	1.5	6.8	0.1
	Lattes (34) - Le Lez	50.8	144	3.5



# ~2,7 milliards de personnes dans le monde ont besoin de GBV

## ~5 milliards en 2030



1. Fosses à ciel ouvert, fosses sans dalles et toilettes à compost incluses dans la rubrique « Autres » car elles n'ont pas besoin de VSS (fosses à ciel ouvert / fosses sans dalles couvertes lorsqu'elles sont pleines)

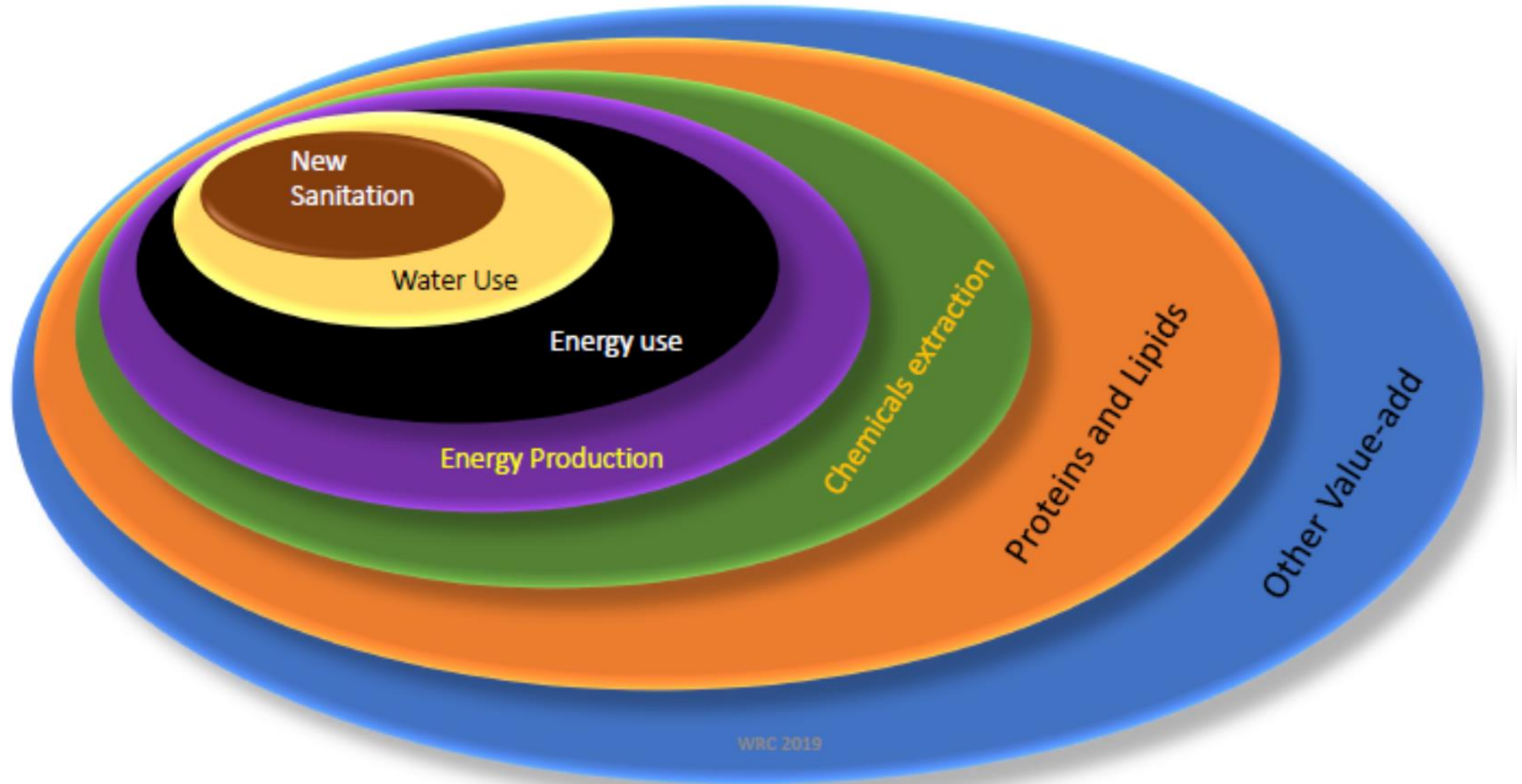
Source : Données de l'ONU sur l'assainissement du JMP, analyse BCG



# Révolutionner l'assainissement et économie circulaire

- **Pour une récupération des ressources à la source – Réinventer les toilettes**
  - **De la station d'épuration (STEP) à la station de production de ressources (SPR)**
- 

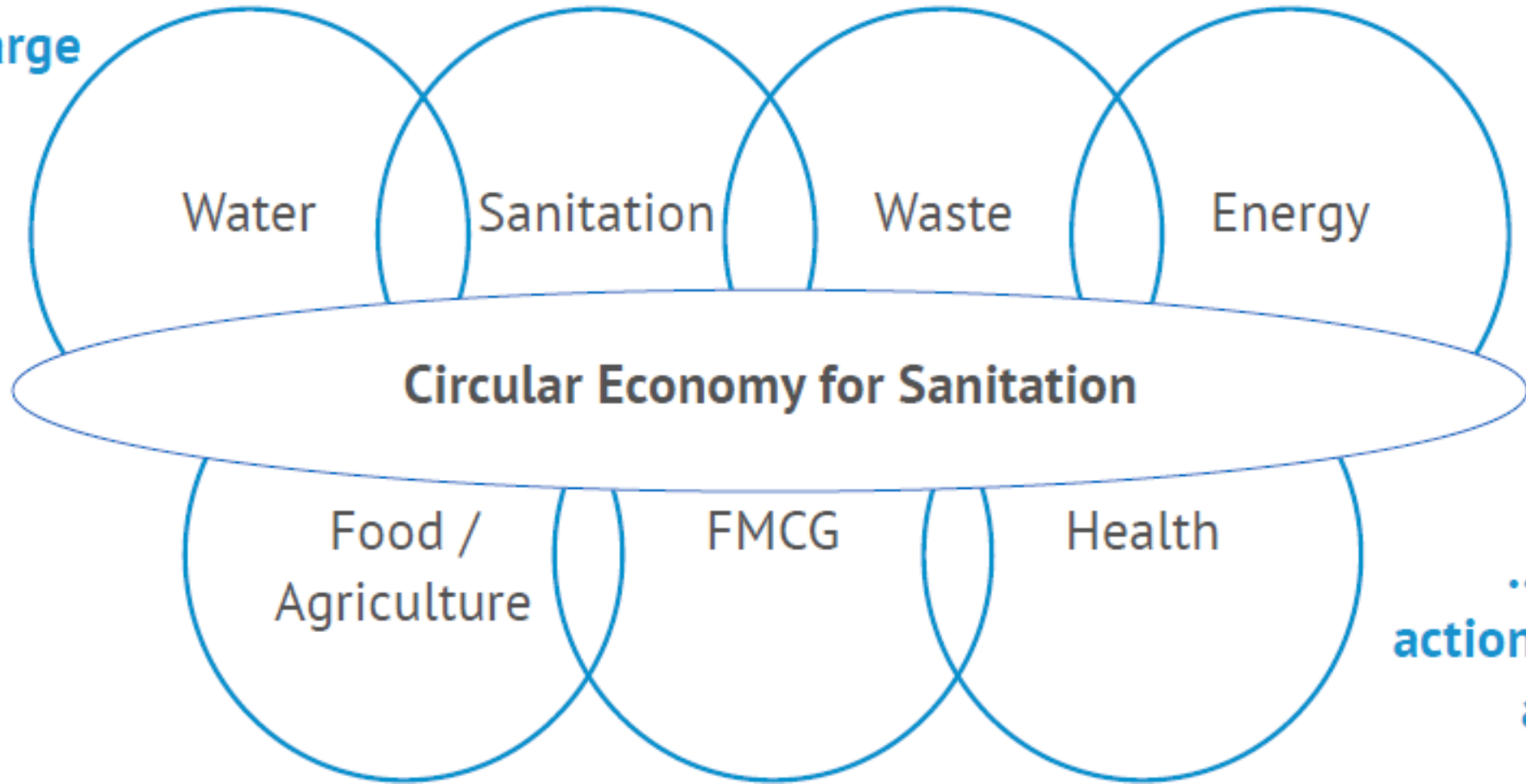
# Le nouvel assainissement comme noyau de la nouvelle économie circulaire



Produire de la valeur ajoutée pour les personnes, les entreprises et les écosystèmes



Connecting large domains...



... with an action-focused approach

Biens de consommation à rotation rapide (FMCG)



# **Révolutionner l'assainissement et économie circulaire**

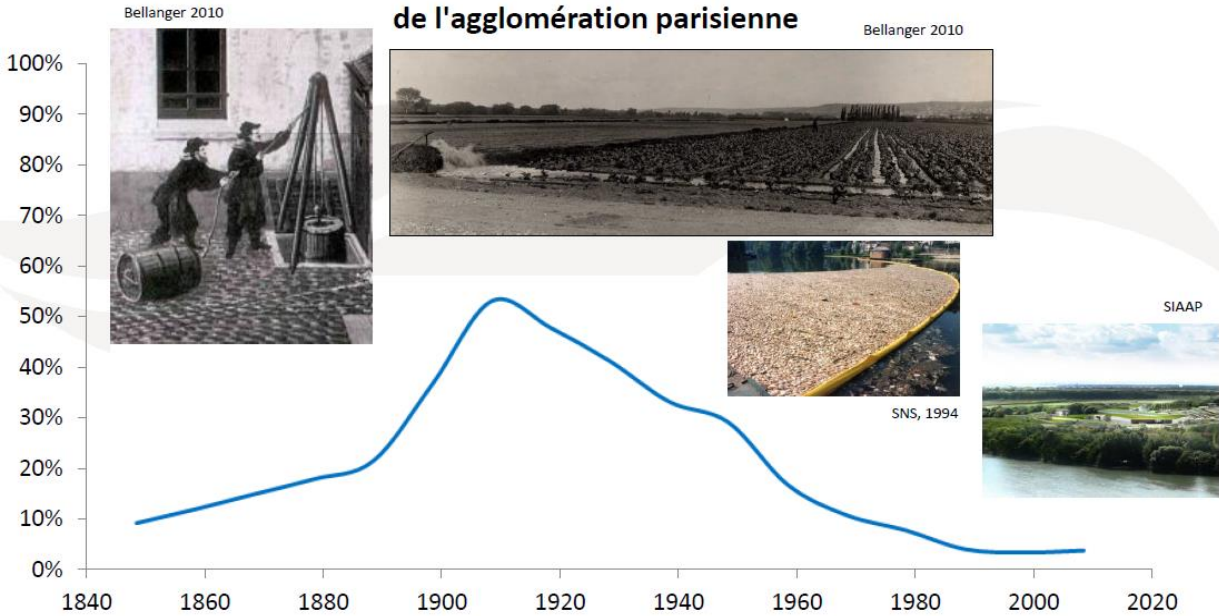
- **Pour une récupération des ressources à la source – Réinventer les toilettes**
- 





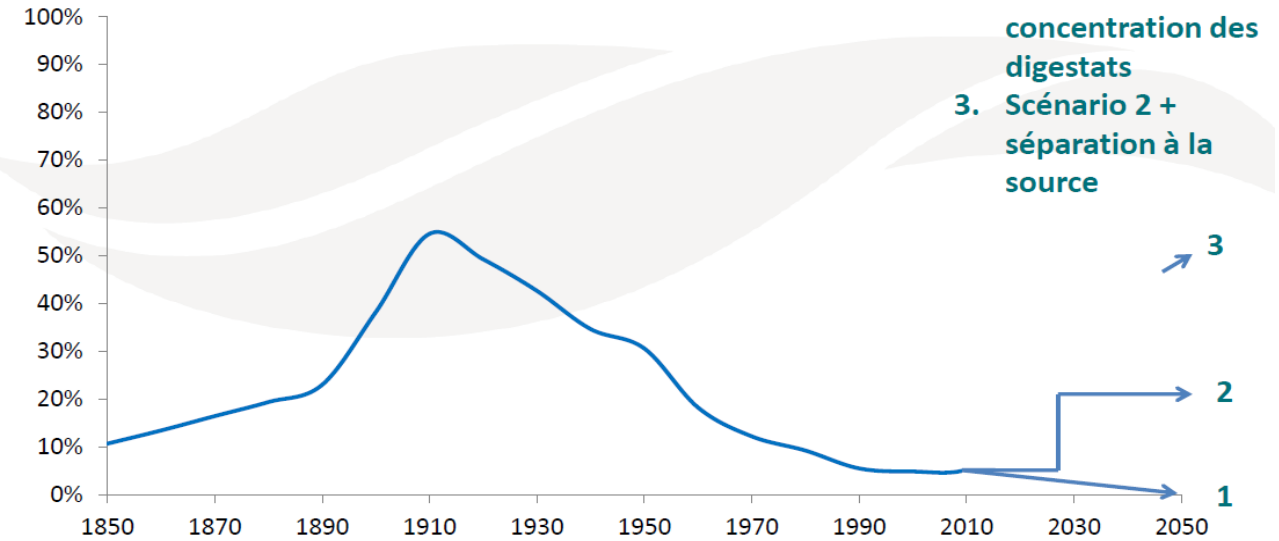
# Perspective historique

Taux de recyclage agricole de l'azote  
des urines et matières fécales  
de l'agglomération parisienne



# Prospective

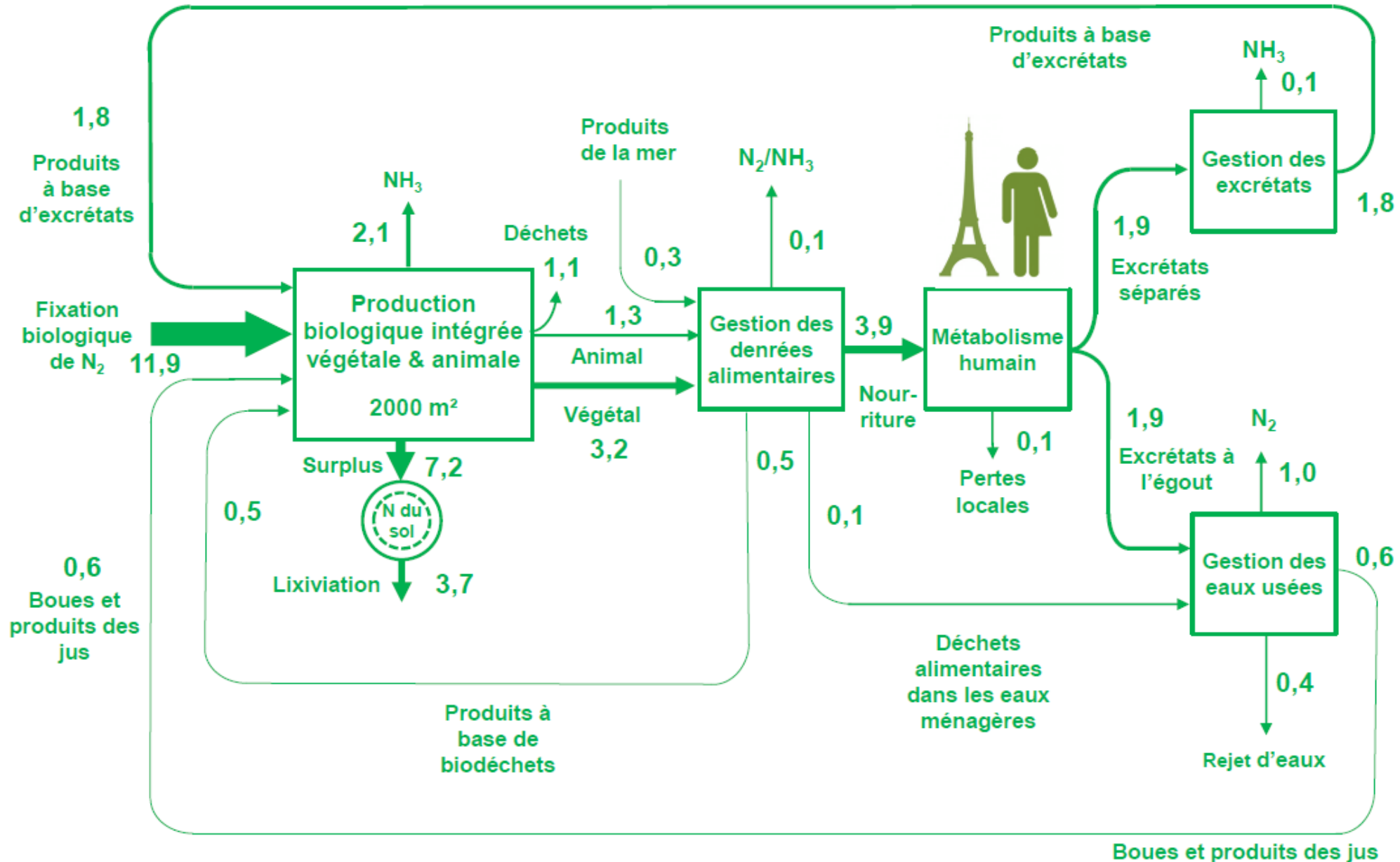
Taux de recyclage agricole de l'azote  
des urines et matières fécales  
de l'agglomération parisienne



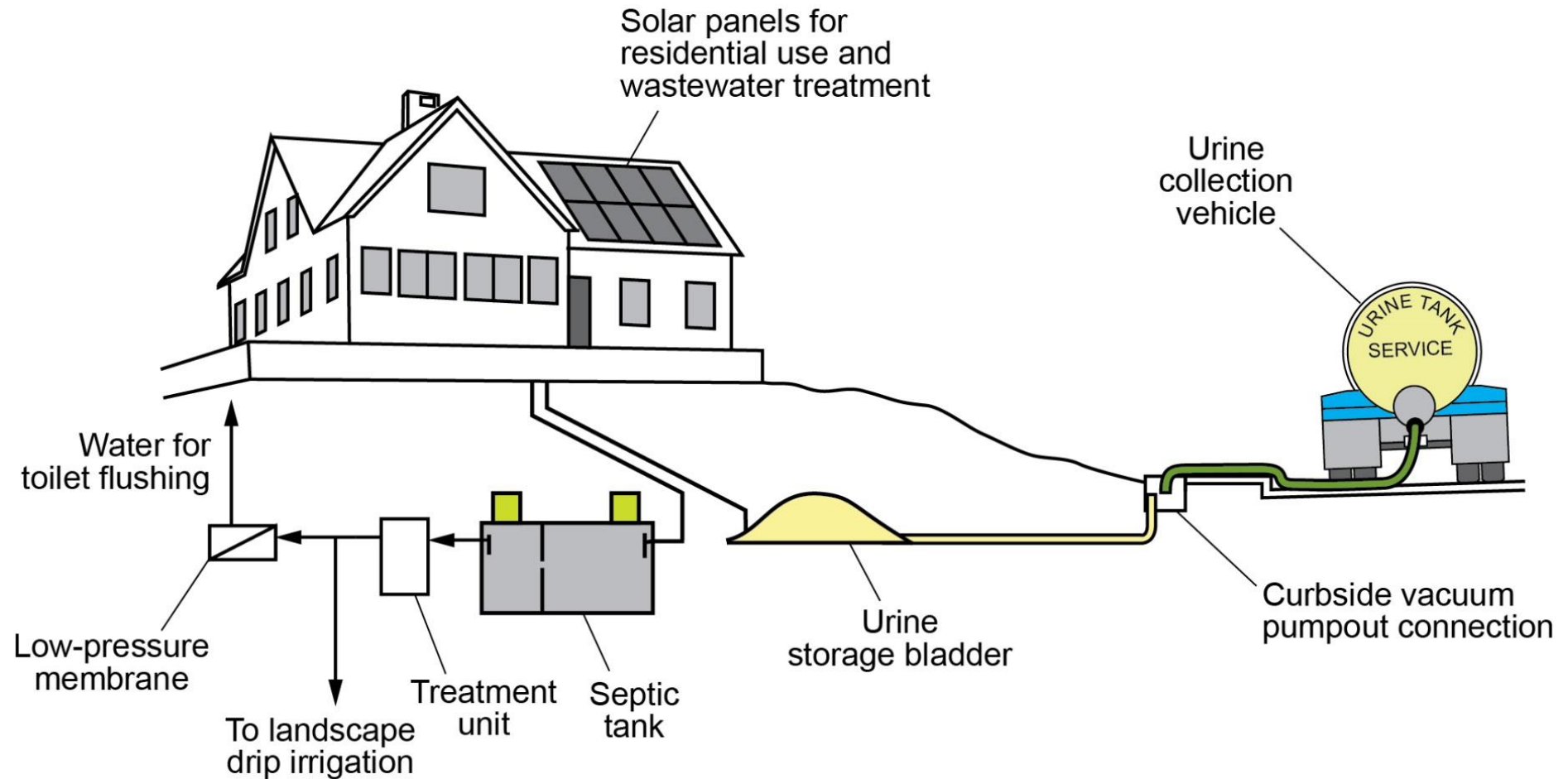
## Scénario 3

- Réduction des émissions de gaz à effet de serre
- De nouvelles filières économiques et de nouveaux emplois locaux
- Le retour d'un mutualisme ville-campagne

# Scénario circulaire du système A/E de l'agglomération parisienne en 2053 (kg N/pers/an) (Esculier, 2018)



# Séparation, stockage et récupération des éléments nutritifs au niveau des résidences individuelles



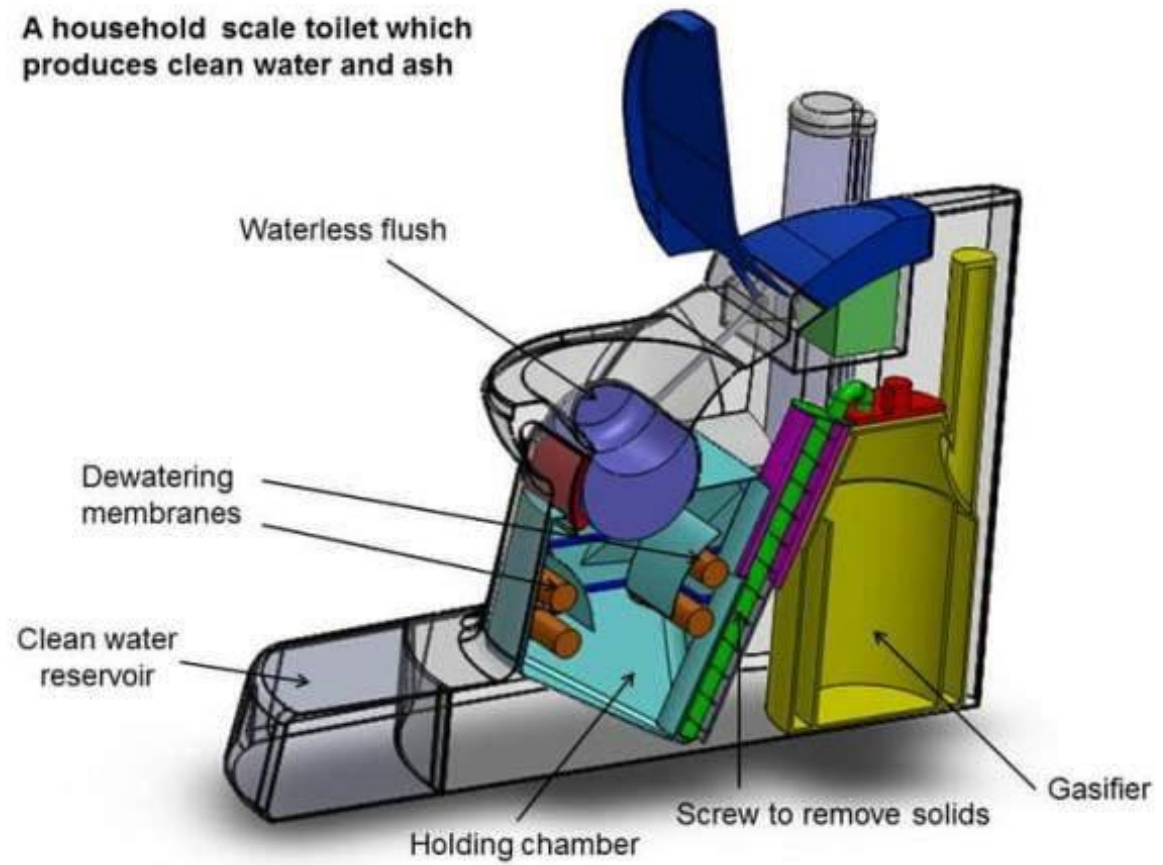


# La révolution des toilettes réinventées

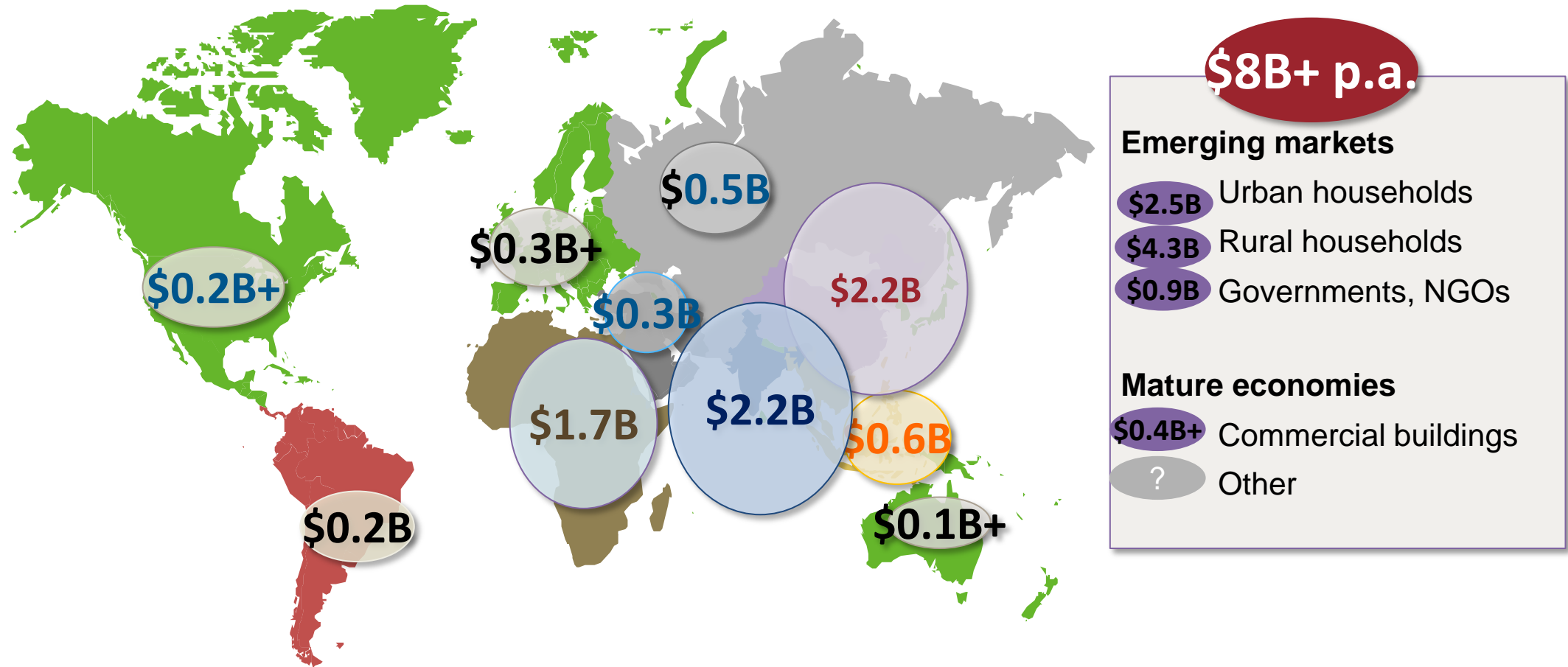
## Toilette à nanomembrane de l'Université de Cranfield



A household scale toilet which produces clean water and ash

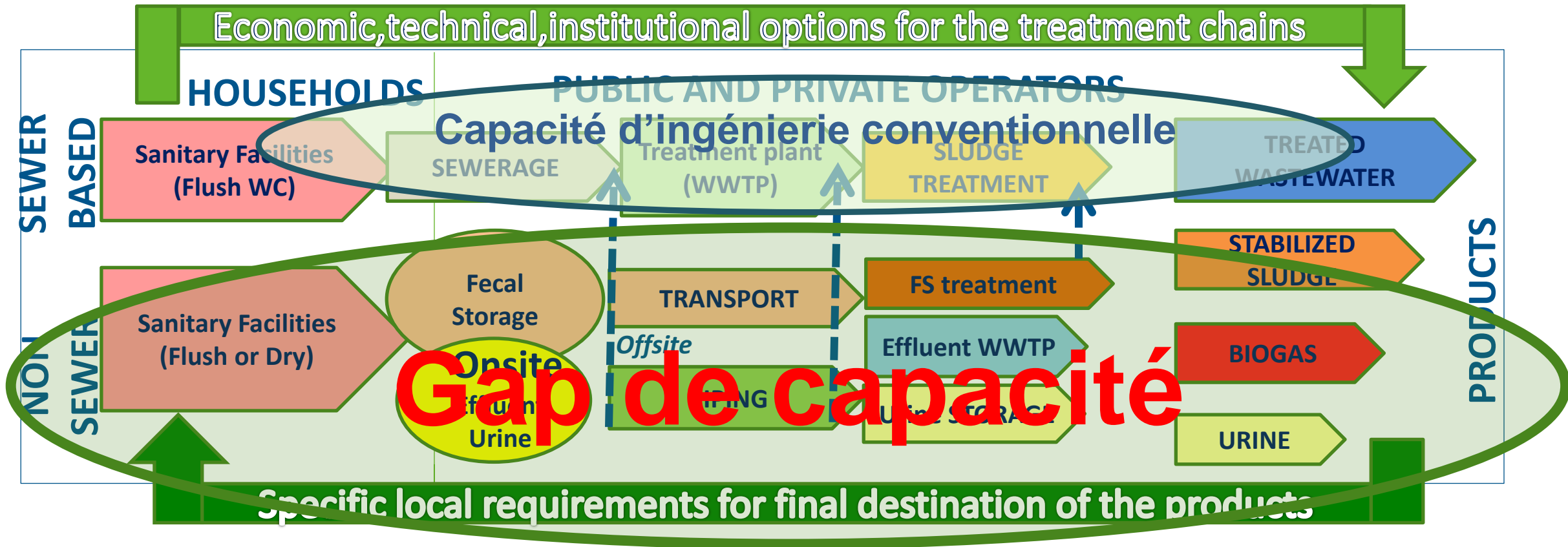


# Opportunité globale annuelle de 8 milliards de dollars pour répondre aux besoins en assainissement...



# Systemes d'assainissement hybrides

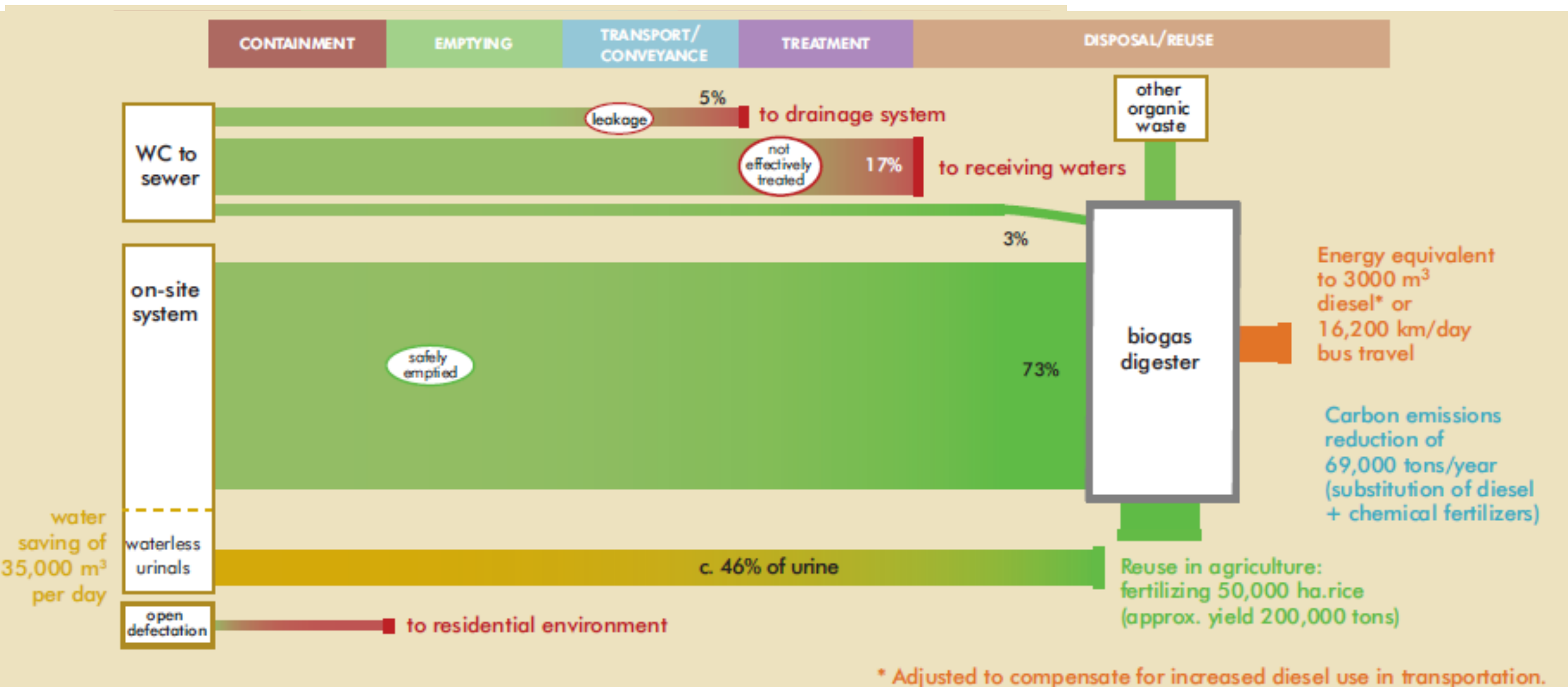
## Assainissement inclusif à l'échelle de la ville (CWIS)



Zones urbaines (résidentielles, commerciales, à faible revenu, périurbaines, bidonvilles)

Les eaux usées provenant de l'assainissement autonome ainsi que des réseaux d'égouts peuvent être transformées en un atout pouvant être valorisé financièrement et économiquement

# Potentiel de production de ressources dans les flux de déchets à Dakar (Sénégal)





Janicki



# sation électricité et en eau

ONAS de Dakar  
carburant, de l'eau  
de l'engrais (cendres)  
pathogènes  
ions nocives

000 personnes

l'électricité

u potable

traités: 50 tonnes/j

/j sec) - 4,000

V

m<sup>3</sup>/day

60 GJ/j

312 m<sup>2</sup>



# Révolutionner l'assainissement et économie circulaire

- De la station d'épuration (STEP) à la station de production de ressources (SPR)
- 

# Potentiel inexploité de récupération des ressources et de water reuse

330 km<sup>3</sup> d'EU municipales pourraient théoriquement:

- Irriguer plus de **40 millions d'hectares** (8000 m<sup>3</sup>/ha/an) (FAO, 2012)
- Fournir une application d'engrais «gratuite» de l'ordre de **322 kg N/ha/an et 64 kg P/ha/an**
- Fournir de l'électricité pour environ **130 millions de ménages** (3500 kWh/HH) (World Energy Council, 2013)



# WASTE? WATER

## FROM WASTE TO RESOURCE

Il est temps d'abandonner le terme « stations d'épuration » au profit de « stations de production de ressources »



Un simple changement de nom peut contribuer à un changement de paradigme

Source: Banque Mondiale, 2020



## TREATED WATER

for:



the energy sector: such as cooling water for power plants and process water for mines



industrial processes, such as in the textile and paper industry



irrigation (agriculture, urban parks, etc)



recreational use

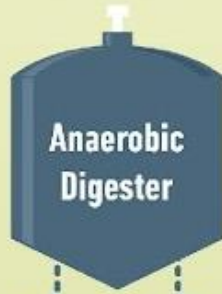


replenishing aquifers



drinking water

## SLUDGE



### Biogas

can be used to generate energy (heat and electricity), which can be used at the plant and/or sold.



### Biosolids

are nutrient rich and can be used as fertilizer in agriculture, to recover degraded areas or as fuel, among others.

CO<sub>2</sub>

**Carbon Credits:** waste water treatment plants can get carbon credits for generating renewable energy.

## PHOSPHORUS

Can be recovered and used as fertilizer



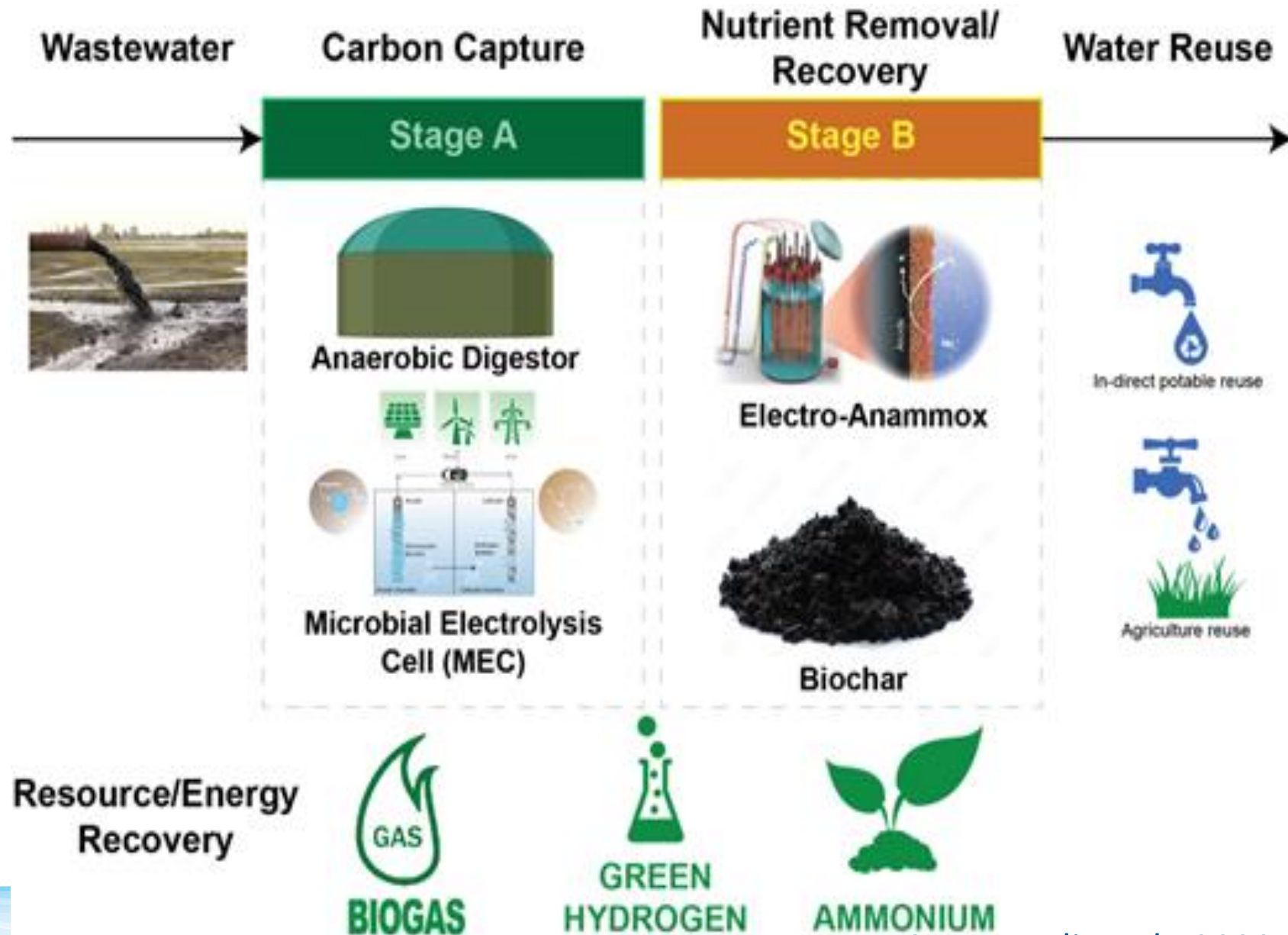
Improved wastewater management offers a double value proposition if, in addition to the environmental and health benefits of wastewater treatment, financial returns are also possible. Resource recovery from these facilities in the form of energy, nutrients, reusable water, and biosolids represent an economic and financial benefit that contributes to the sustainability of these systems and of the water utilities operating them.



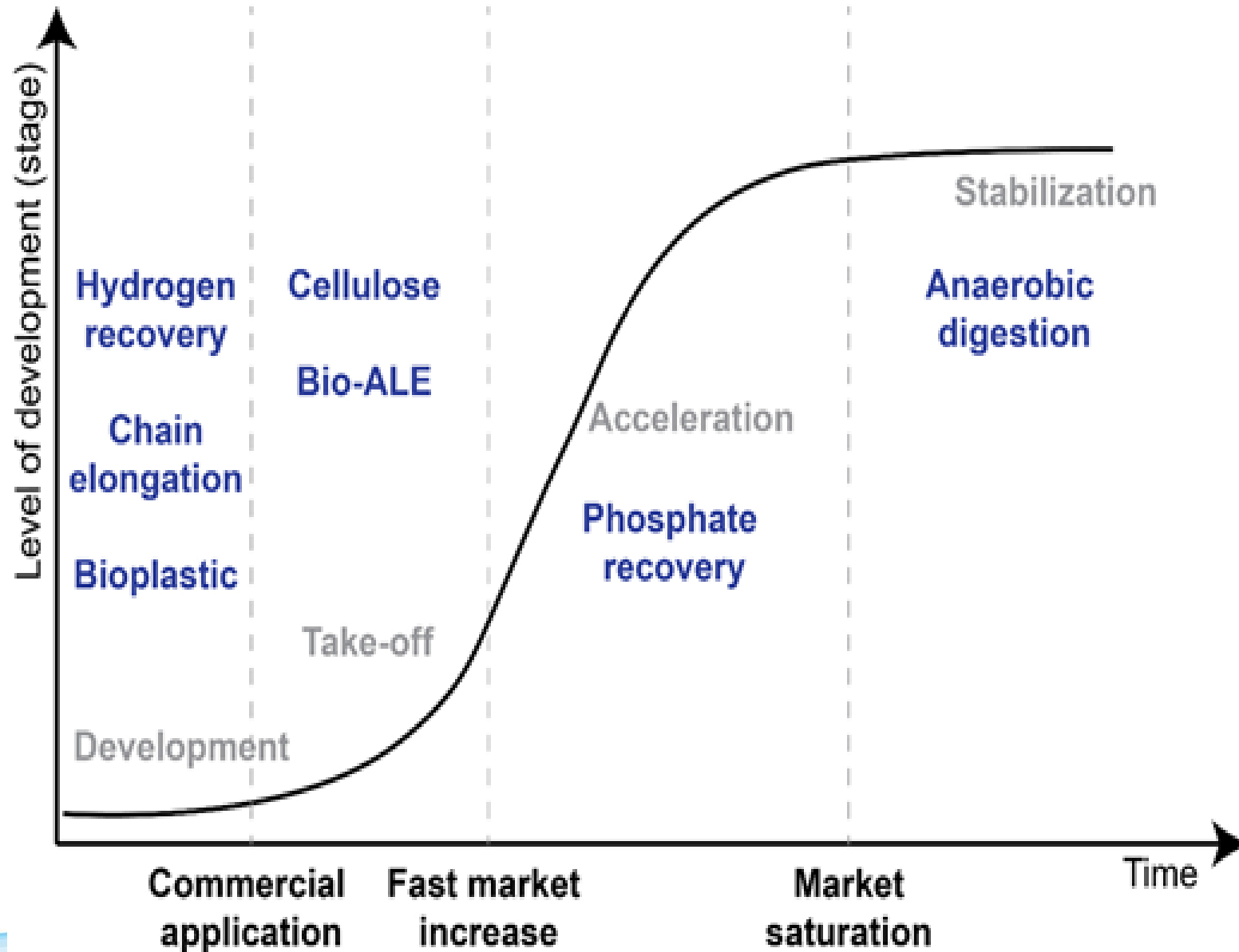
Ces ressources peuvent générer des sources de revenus additionnels pour les opérateurs et couvrir une partie des coûts de fonctionnement, contribuant à la durabilité des systèmes d'eau

# Traitement et Water Reuse avec récupération d'énergie en Arabie saoudite

- Etape A spécifiquement conçue pour maximiser la récupération de l'énergie à partir de matières organiques dans les eaux usées domestiques comme le méthane dans la DA ou l'hydrogène dans la MEC
- Etape B principalement dédiée à l'élimination de l'azote / récupération d'énergie comme dans l'électro-anammox ou à la récupération de l'azote à l'aide de biochar



# Niveau de développement de production de différentes ressources à partir des eaux usées dans des stations de production de ressources en Arabie Saoudite



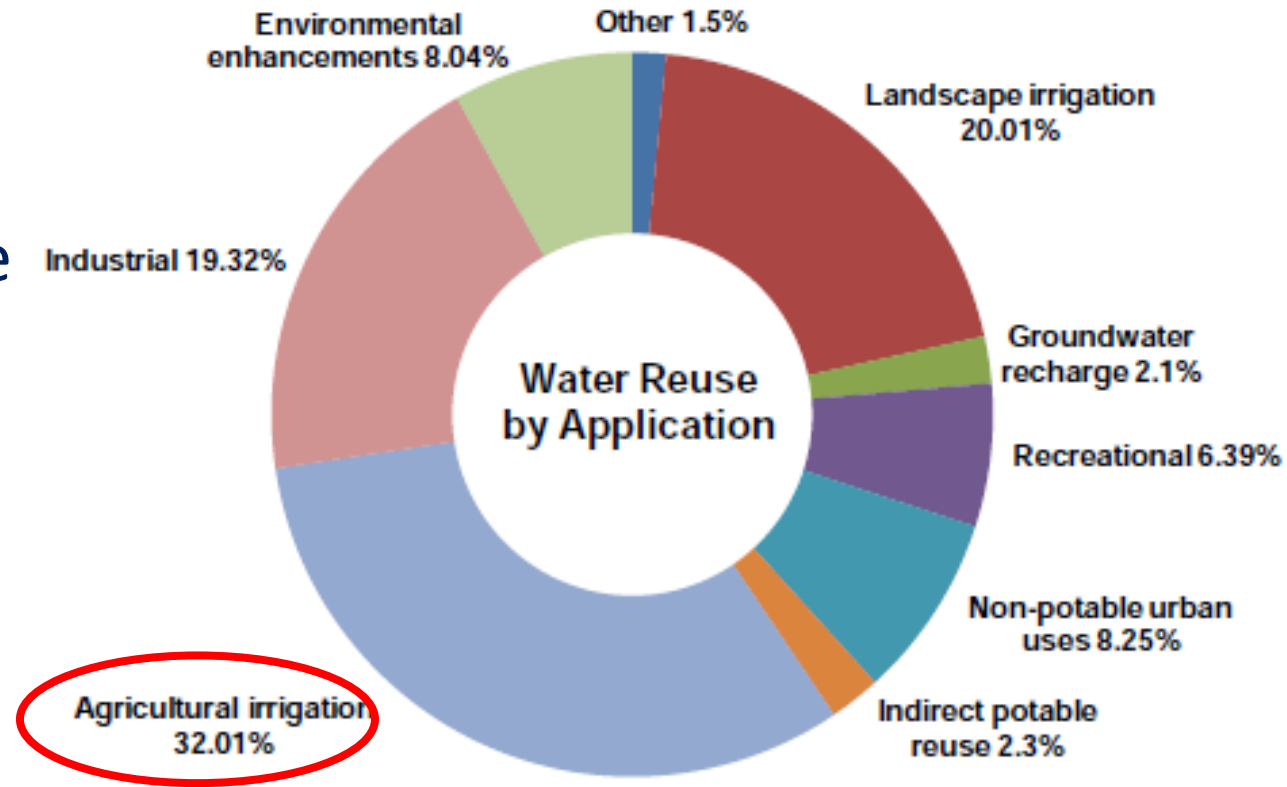


# **Exemples de Water Reuse dans différents pays**



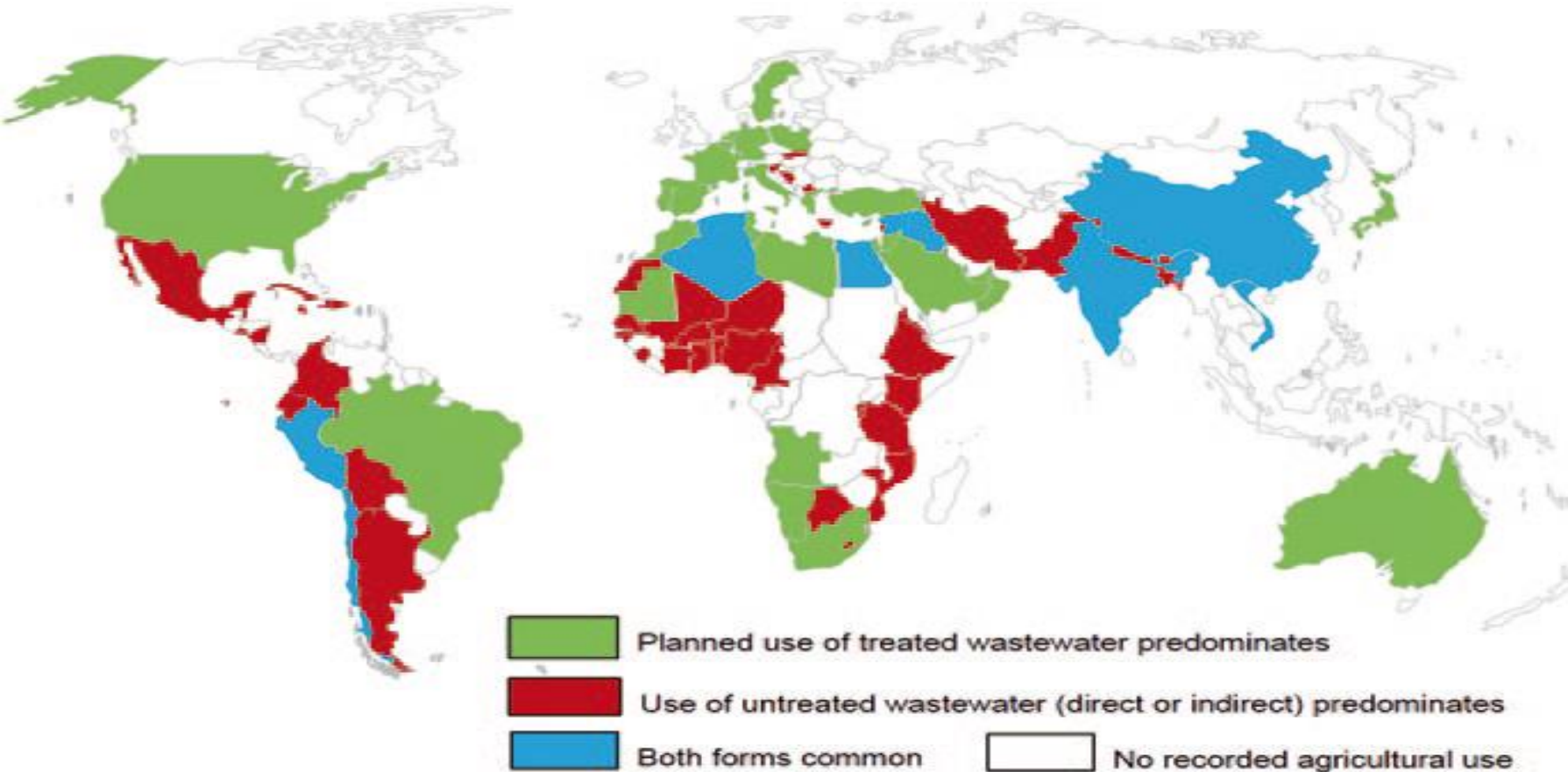
# Options de reuse

1. Irrigation agricole
2. Irrigation d'espaces verts
3. Recharge de nappes
4. Récréationnelle et Environnementale
5. Reuse urbaine nonpotable
6. Recyclage et reuse industrielle
7. Potable Reuse



Usage le plus important et le plus en expansion

# Pays pratiquant la Water Reuse agricole



- $\approx 50$  millions  $m^3/j$  (18  $km^3/an$ ) d'EU réutilisés (5-7% du volume) – 58 % utilisé non traité pour l'irrigation (Jiménez et Asano, 2008)
- $\approx 29,3$  millions ha ( $\approx 9$  % de la sup. tot. irrig.) irrig. avec des eaux usées brutes (Thebo et al., 2017)
- $\approx 10$  % de la production agricole mondiale irriguée avec des eaux usées brutes (Scheierling et al., 2010; Drechsel et al., 2010)



# Agriculture informelle urbaine et périurbaine





# Utilisation sûre et productive des eaux usées avec l'approche multi-barrières



**Réduction des risques pour la santé au niveau du marché et des consommateurs**

Pratiques de manipulation hygiéniques  
Lavage et préparation des aliments  
Sensibilisation

**Réduction des risques pour la santé à la ferme**

**Pratiques d'irrigation sûres**

**Traitement approprié des eaux usées**





**Réutilisation des eaux grises et collecte des eaux de pluie dans l'agriculture périurbaine à La Soukra, Tunisie**



# Irrigation des cultures vivrières et non alimentaires au Koweït





**41 MUSD, 70 % de la récolte des Etats-Unis, 2150 ha**

**16 MUSD, 6 % de la récolte des Etats-Unis, 950 ha**

**Irrigation par aspersion et par goutte à goutte enterré**



**44 MUSD, soit 1,6 % de la récolte des États-Unis, 2550 ha**

**Irrigation par aspersion**



**4,2 MUSD, cultures non alimentaires, 30 ha**

**Irrigation par goutte à goutte et par aspersion**



## **PROJET DE WATER REUSE DU COMTÉ DE MONTEREY, CALIFORNIE (ÉTATS-UNIS)**

**Capacité : 114 000 m<sup>3</sup>/j, Eau recyclée tertiaire désinfectée, 5 700 hectares dont 5 000 ha de cultures maraîchères :**

**céleri, laitue, artichauts, fraises, brocoli, fenouil, chou-fleur**



# Aménagement paysager municipal à Abu Dhabi





# Installation de lavage de Merah Lahrach à la STEP de Khouribga - Groupe OCP, Maroc

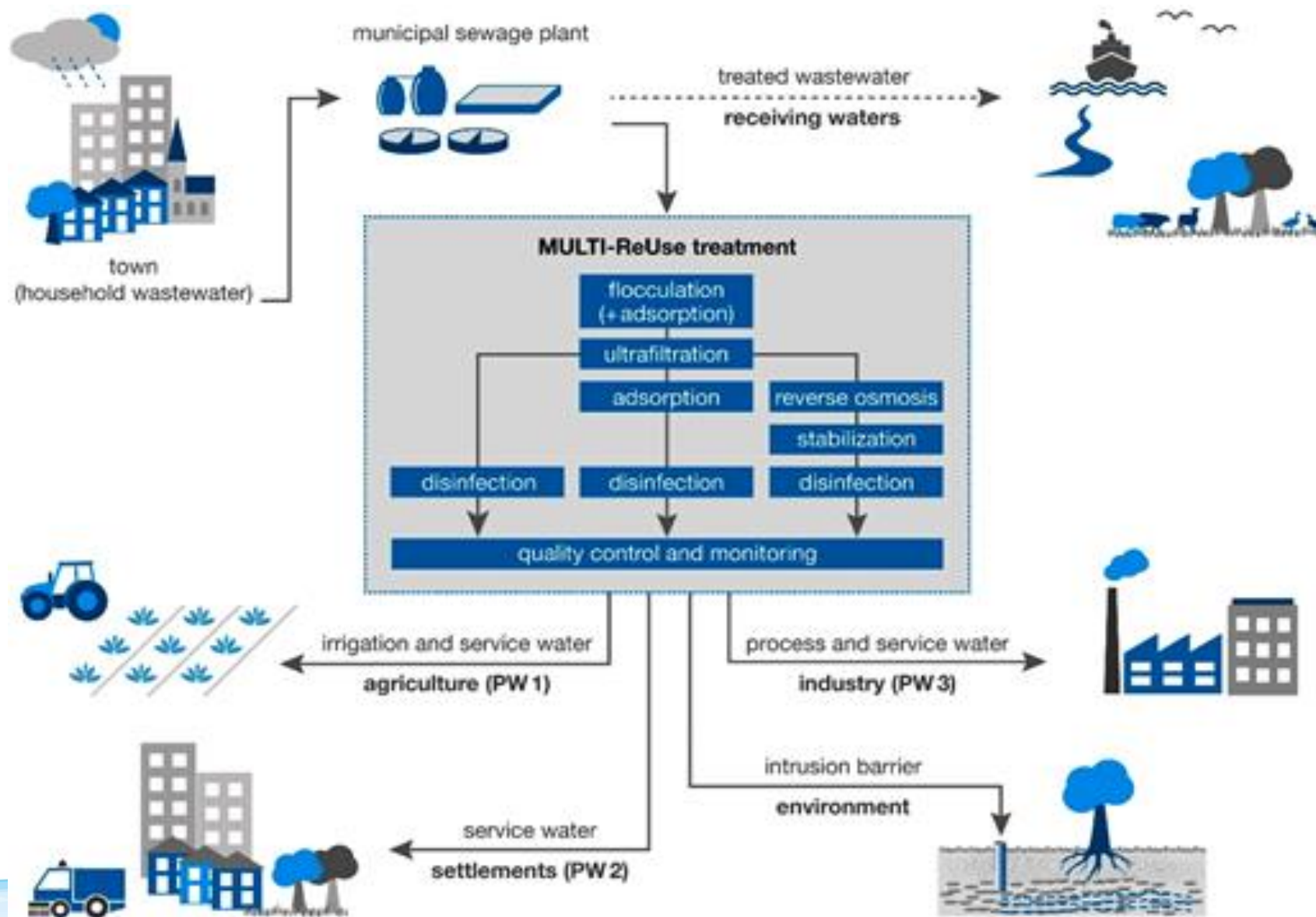
## Réutilisation industrielle et paysagère

- Traitement biologique; Capacité de prod.: 5 Mm<sup>3</sup>
- Lavage des phosphates après extraction
- Valorisation des EUT et des boues de l'usine de lavage
- Reuse → conservation des eaux souterraines de Khouribga
- Espaces verts irrigués dans et autour de la STEP
- 30 % des besoins en eau (EUT combinée avec de l'eau de mer dessalée)



# Concept Multi-Reuse - West Basin Water Recycling Facility

Schéma de processus des technologies et applications de traitement MULTI-ReUse (adapté de [Becker et al. \(2017\)](#))





# Water Reuse à des fins industrielles dans le cadre d'un accord de PPP à Durban, Afrique du Sud

## AVANTAGES

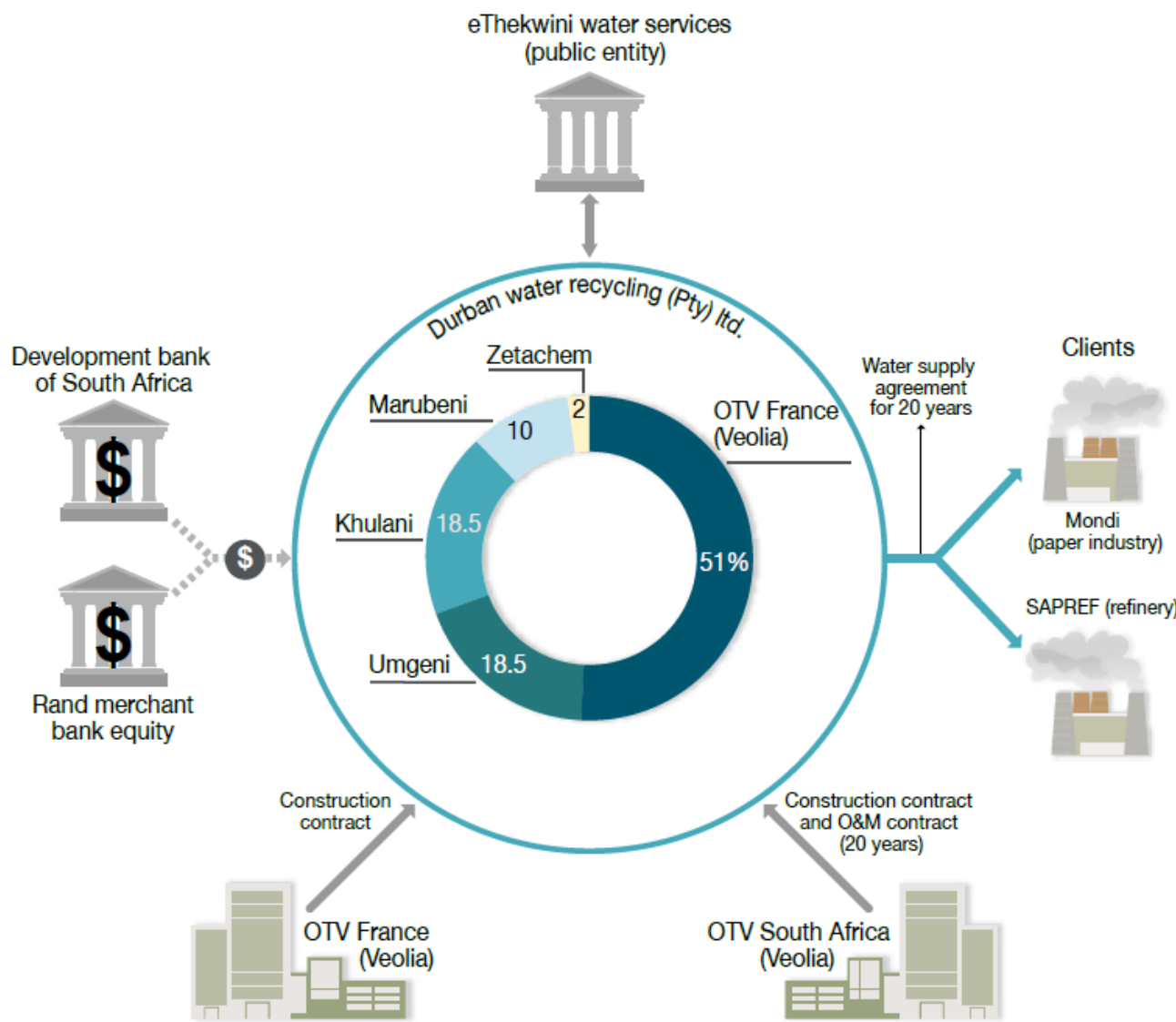
- Cas de référence en Afrique
- Garantie d'une source de revenus à LT provenant de l'industrie (contrat de 20 ans)

## Industrie

- Mondi, usine de papier, et SAPREF, raffinerie de pétrole EUT moins chère (200 USD/m<sup>3</sup>) que l'eau potable (370 USD/m<sup>3</sup>)
- Réduction des risques liés à la disponibilité de l'eau et sécurité accrue en cas de pénurie

## Durban

- Demande d'eau potable pour 400 000 personnes sup.
- Investissement dans de nouvelles infrastructures pour le traitement de l'eau reporté





# Water Reuse pour les chasses d'eau à New York et à Tokyo

- Solaire building à New York



- Gratte-ciels dans la région de Shinjuku à Tokyo



**L'eau usée traitée est utilisée pour les chasses d'eau, l'irrigation paysagère et l'eau de refroidissement**

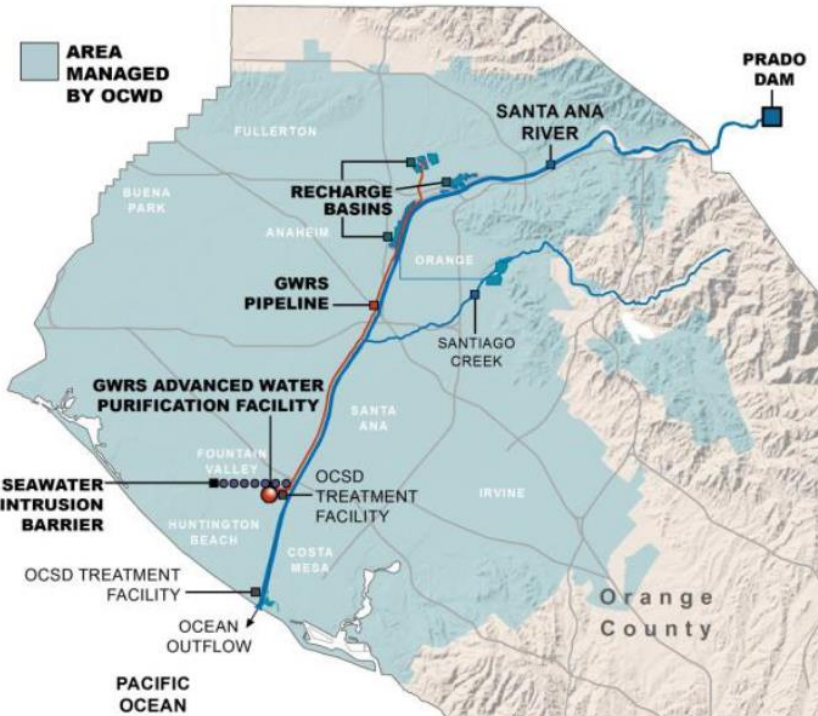




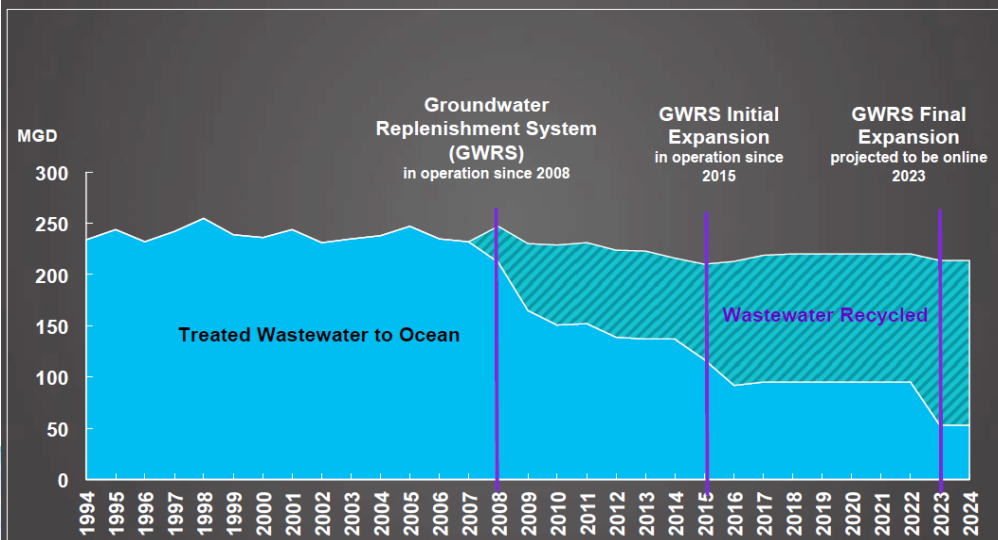
# Orange County Water District OCWD & OCSD : Transformer les eaux usées en eau potable Système de recharge des eaux souterraines



- Installation de purification d'eau de 100 MGD
- EUT qui seraient rejetées dans l'océan, les purifient à une qualité proche de la distillation, puis les rechargent dans le bassin d'eau souterraine
- Nouvelle source d'eau pour près de 850 000 personnes
- Opérationnel depuis janvier 2008 (70 MGD), étendu en mai 2015 (100 MGD)
- Le plus grand projet planifié de réutilisation indirecte d'eau potable au monde
- Extension finale à 130 MGD prévue pour achèvement d'ici 2023

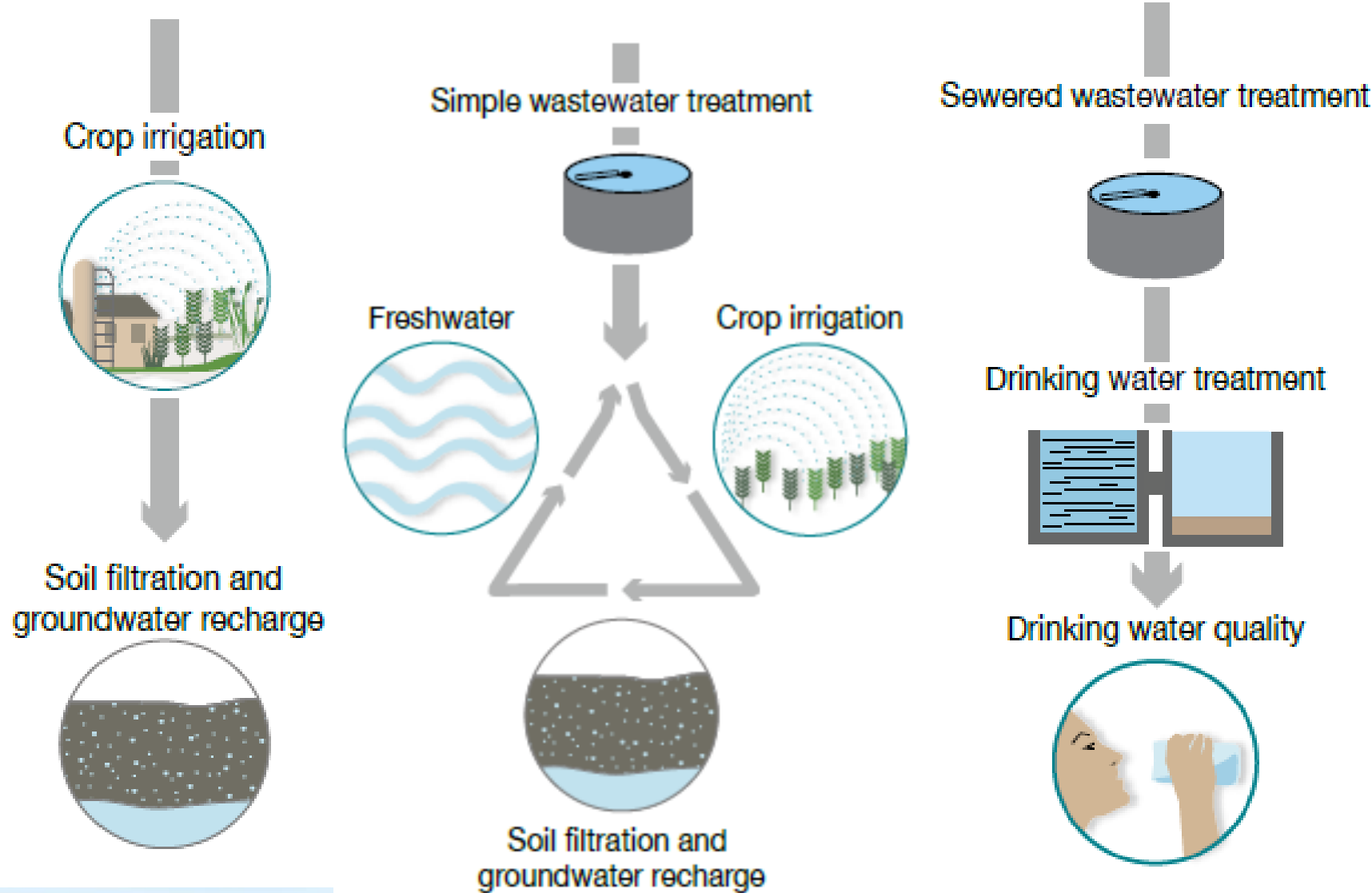


**Goal is to recycle all water that can be recycled.**



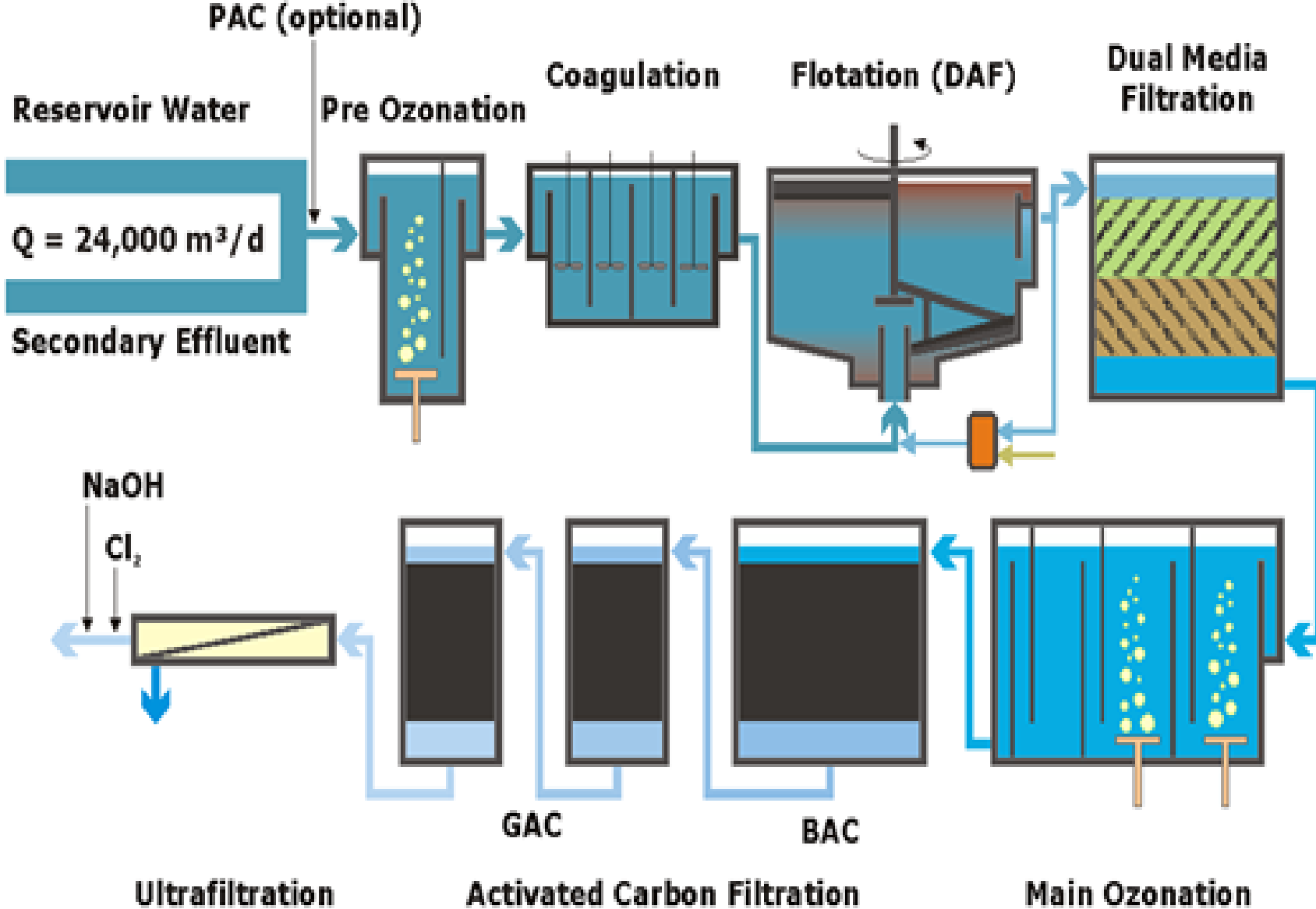
# Windhoek, Namibie - La première usine de reuse directe d'eau potable au monde

Un modèle de gestion de l'eau innovante et durable et un PPP réussi



- Volumes d'eaux usées traitées : 9,1 Mm<sup>3</sup>/an. 26 % de l'eau potable de Windhoek provient de l'usine de Goreangab
- Windhoek Goreangab Operating Company chargée de la mise en œuvre
- Lignes directrices en matière de conformité à la qualité stipulées dans l'entente de gestion privée
- Financement public de l'exploitation et de l'entretien des STEPs
- Maximum de 35 % de EUT mélangé à une source d'eau potable conventionnelle fournie aux résidents
- EUT excédentaire utilisée pour la recharge et l'irrigation des aquifères
- Plusieurs campagnes de sensibilisation organisées avec les médias et dans les écoles pour améliorer l'acceptabilité sociale

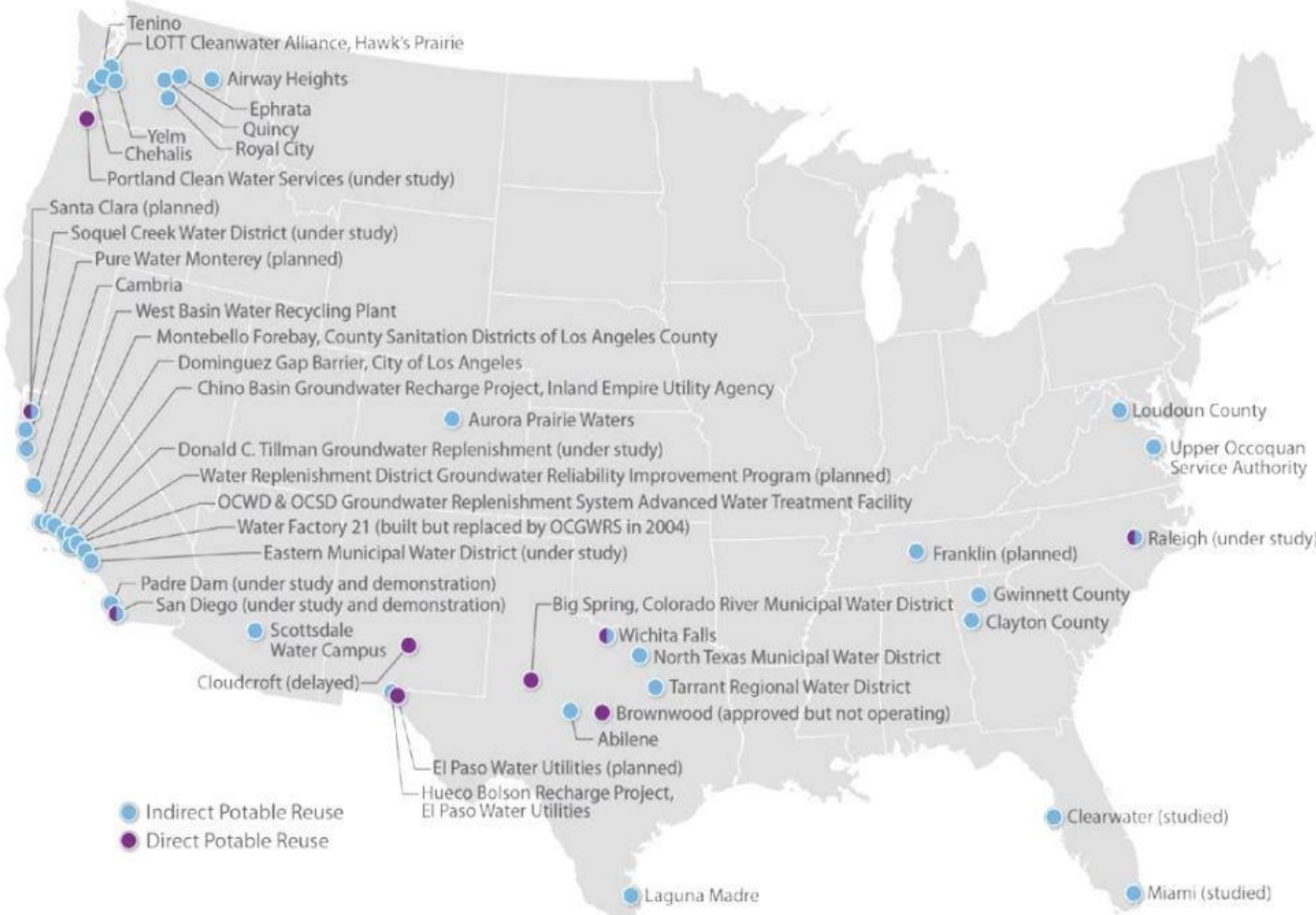




# Systeme avance de traitement multi-barrieres en 9 etapes



# Projets planifiés de Water Reuse à des fins d'eau potable aux États-Unis



Source: Greg Wetterau, CDM Smith/US EPA, 2016



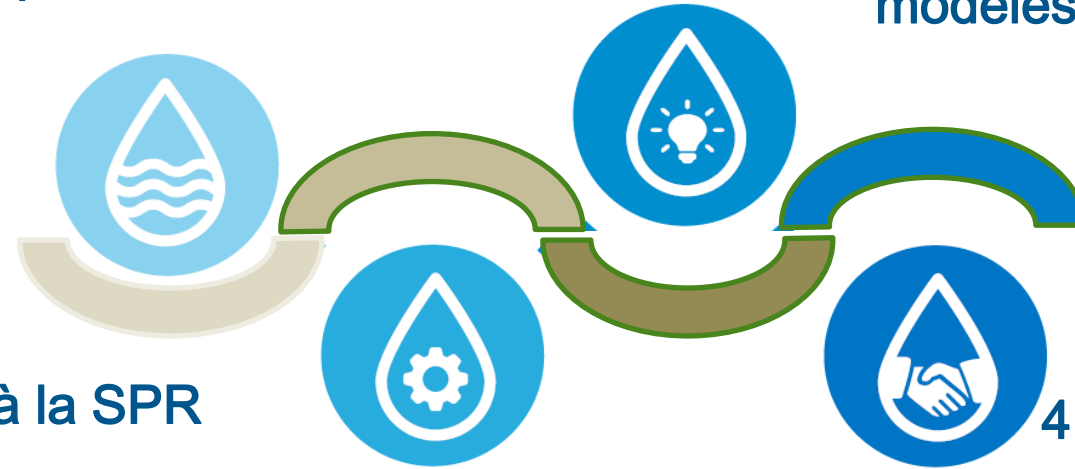
# **Principaux challenges**



# Actions clés pour dynamiser le secteur de la gestion des eaux usées et contribuer à la réalisation des ODD

1. Planifier le traitement et la water reuse pour améliorer l'efficacité et l'allocation des ressources, et impliquer les parties prenantes

3. Mettre en place des financements et des business modèles innovants

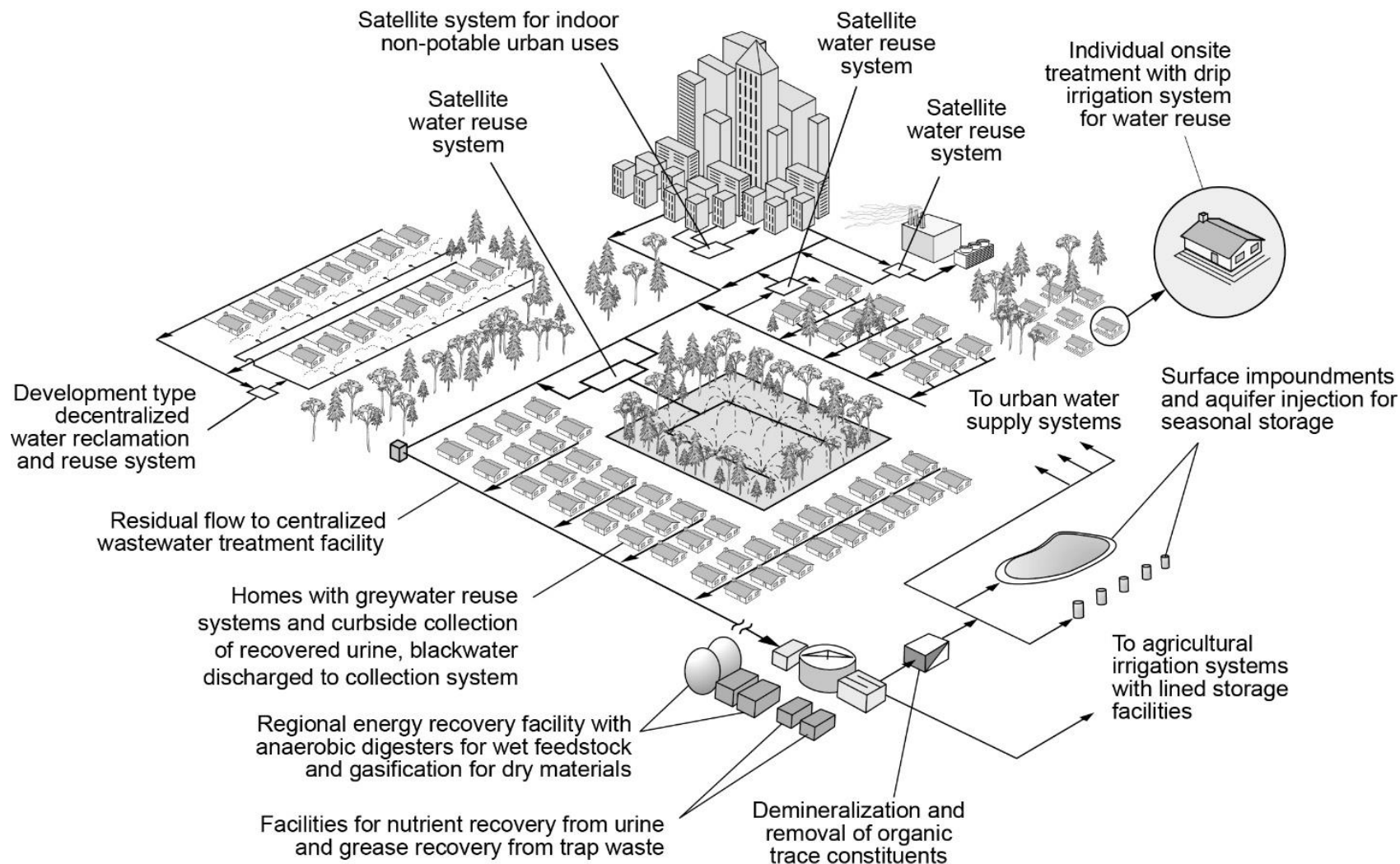


2. Passer de la STEP à la SPR

Reconnaître la valeur réelle des eaux usées et les ressources potentielles qui peuvent en être extraites

4. Travailler sur les politiques, les institutions et la réglementation pour faciliter une transition vers la production et l'utilisation de ressources dans le cadre d'une économie circulaire

# Gestion intégrée des eaux usées avec des installations décentralisées, satellites et centralisées



## Legend

cost of reuse  
euro/m<sup>3</sup>

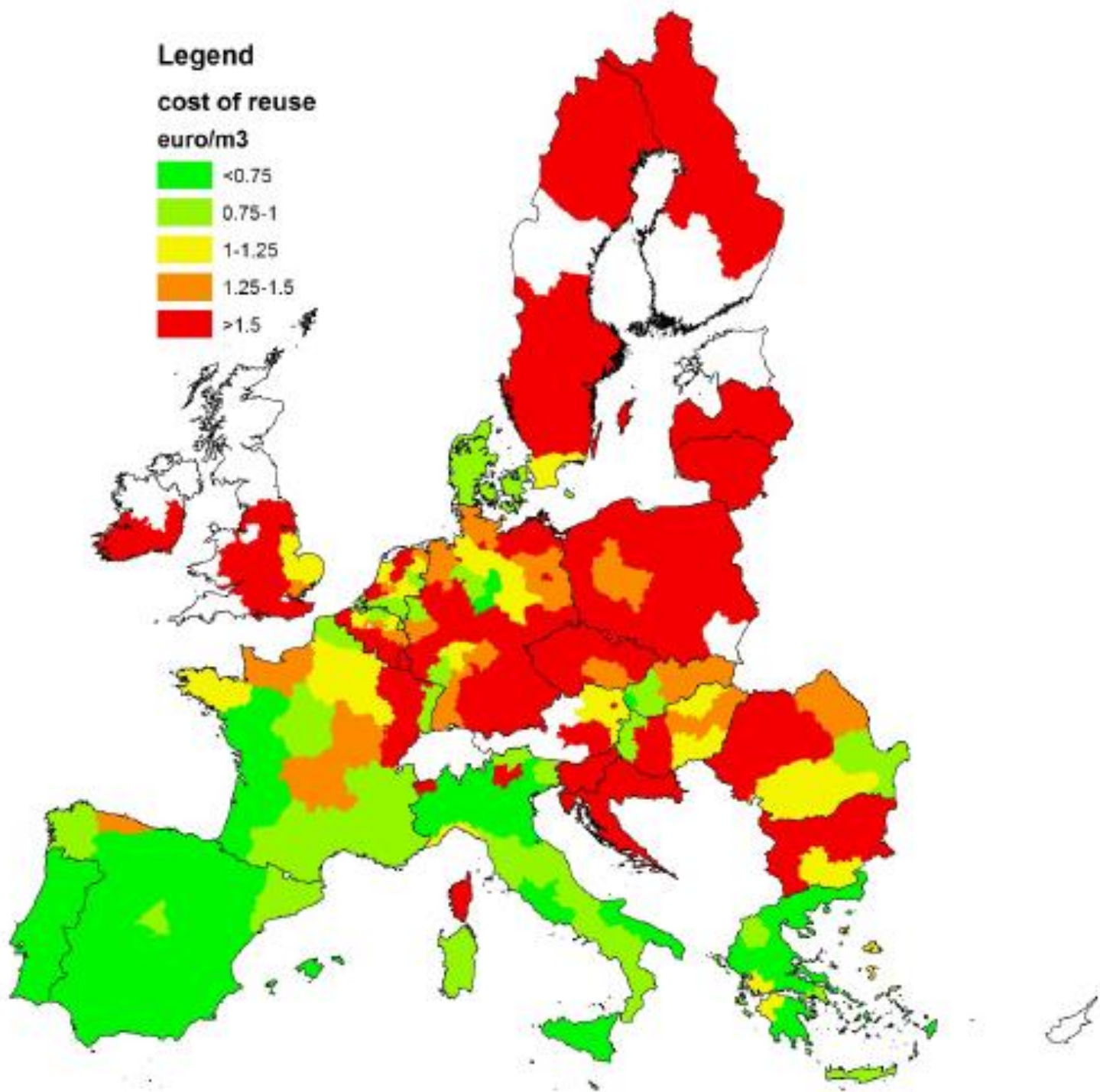
<0.75

0.75-1

1-1.25

1.25-1.5

>1.5



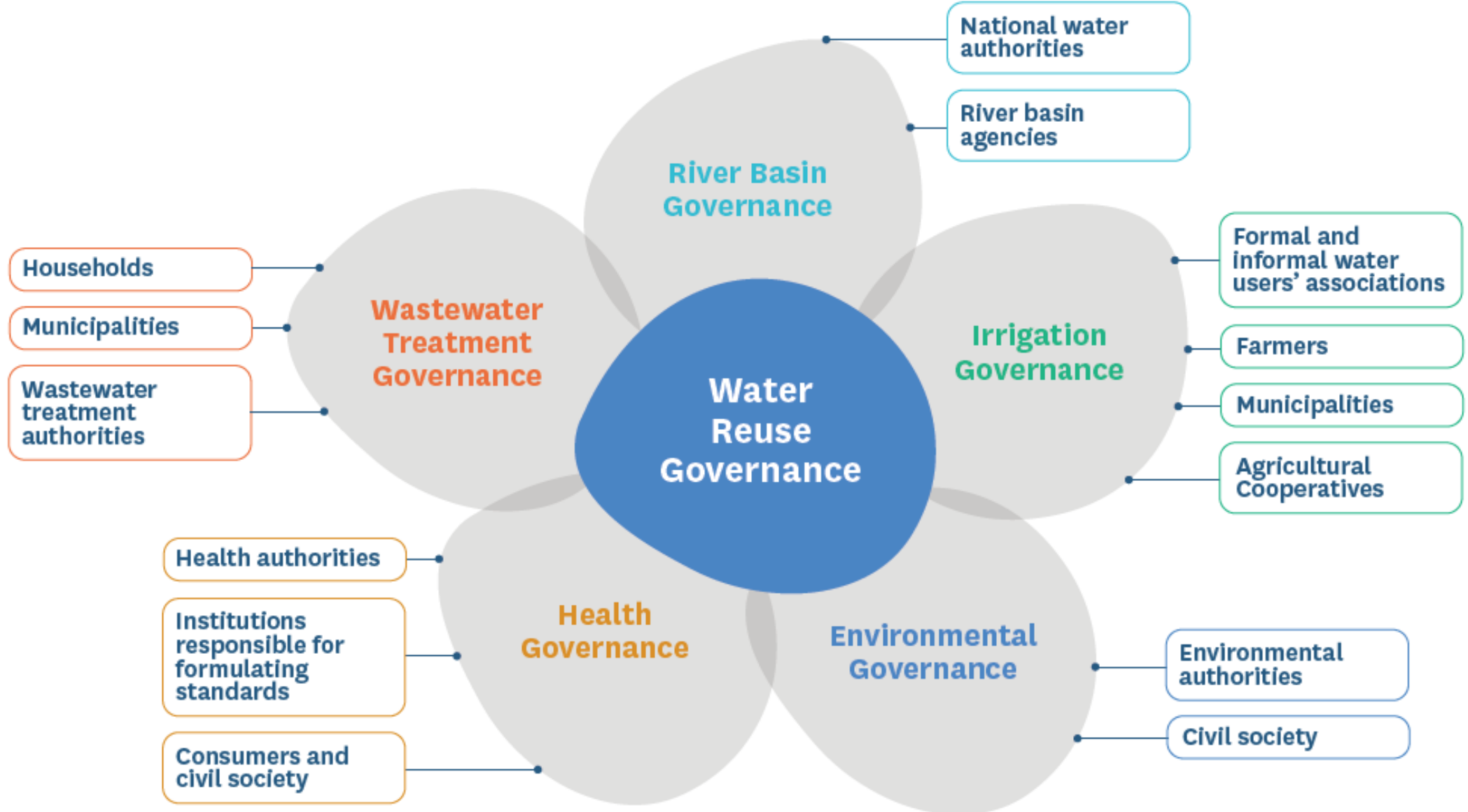
**Coût unitaire moyen de l'eau  
réutilisée par bassin  
hydrographique de l'UE  
(Chypre non incluse)**

Source: JRC Science Hub, 2017

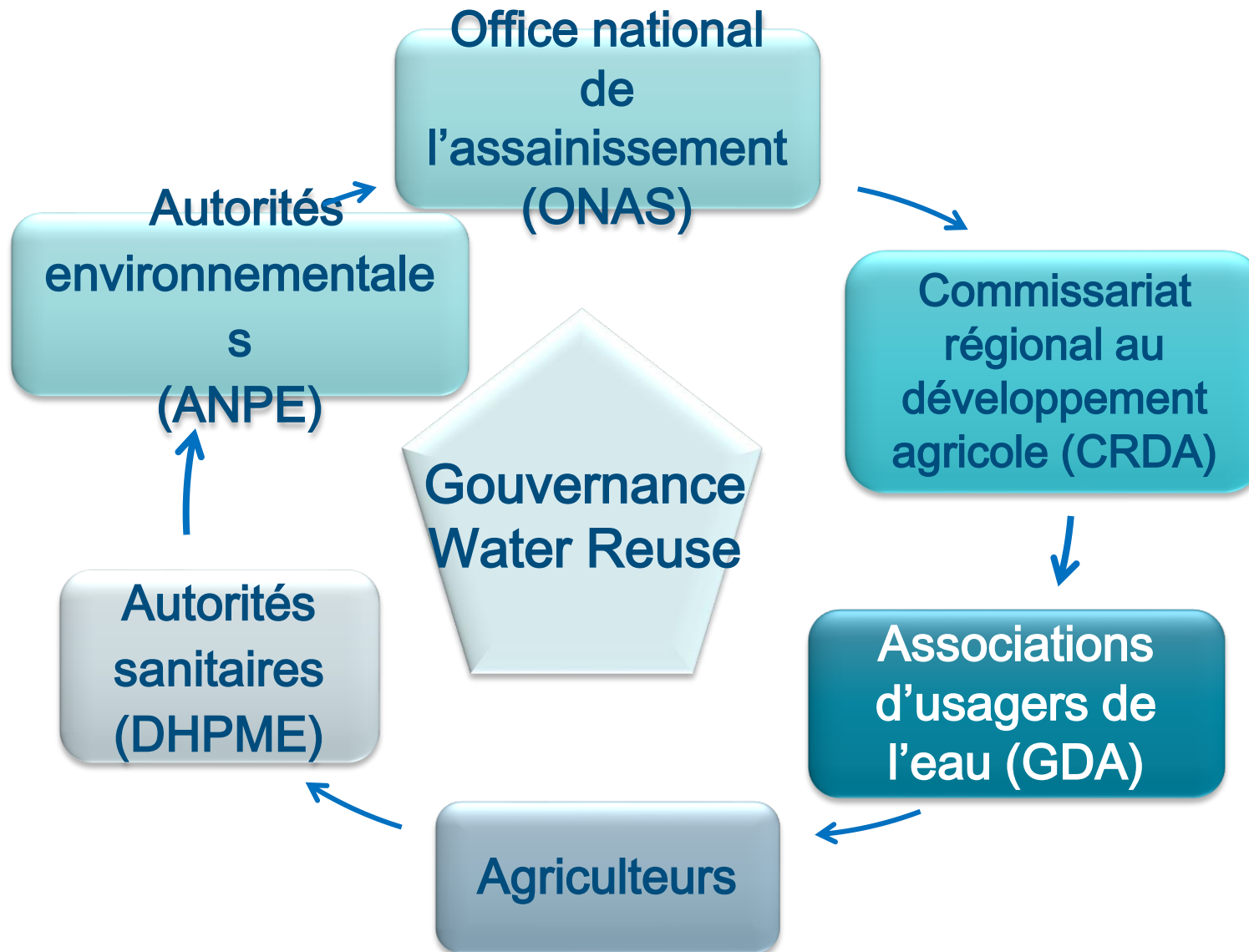
<https://ec.europa.eu/jrc>



# Le large éventail de parties prenantes impliquées dans l'irrigation dans la gouvernance de la Water Reuse



# Recouvrement des coûts grâce à la water reuse pour les arbres fruitiers à Ouardanine, Tunisie



- STEP de Ouardanine : Trait. II de l'eau domestique d'environ 3 400 ménages
- Plantations d'arbres (oliviers, pêchers, amandiers, ...) gérées par 40-46 agriculteurs privés
- Distribution et facturation de EUT aux agriculteurs par un GDA à un prix subventionné
- STEP fournit gratuitement des biosolides comme conditionneur de sol
- 40 % des coûts d'exploitation et d'entretien du système d'irrigation sont récupérés



# Améliorer l'acceptabilité de la Water Reuse



Sustained dialogue



Independent sources of information



Opportunities to ask questions



Community is involved early



Information is available and transparent



Behavior is non-coercive



Equal opportunity for opinions



Willingness to listen to all views



Community has some level of control over the process

Maximiser la confiance des intervenants communautaires



# Lignes directrices et règlements sur la qualité de l'eau d'irrigation (adapté de Uyttendaele et al., 2015; Commission UE, 2017)

Country/Region	Water type	Regulation/guideline	Criterion
Australia/New Zealand	Reclaimed water for irrigation of commercial crops eaten raw	Guideline	<1 <i>E. coli</i> /100 mL
Canada (Alberta)	Surface water	Guideline	1,000 total coliforms/100 mL <100 fecal coliforms/100 mL
Canada (British Columbia)	Surface water	Guideline	200 fecal coliforms/100 mL 77 <i>E. coli</i> /100 mL <20 fecal streptococci/100 mL
USA	Surface water	Guideline	<126 <i>E. coli</i> /100 mL
USA	Reclaimed water	Guideline	Fecal coliforms absent in 100 mL
California	Reclaimed water	Regulation	<2.2 total coliforms/100 mL fecal coliforms absent
Denmark	Surface water	Notification <sup>2</sup>	<i>E. coli</i> absent in 100 mL
Portugal	Surface water	Regulation <sup>3</sup>	5 or 500 total coliforms/100 ml
<u>EU Commission</u>	Untreated surface water/open water channels	Guideline <sup>1</sup>	<100 <i>E. coli</i> /100 mL to <10,000 <i>E. coli</i> /100 mL (depending on crop type)



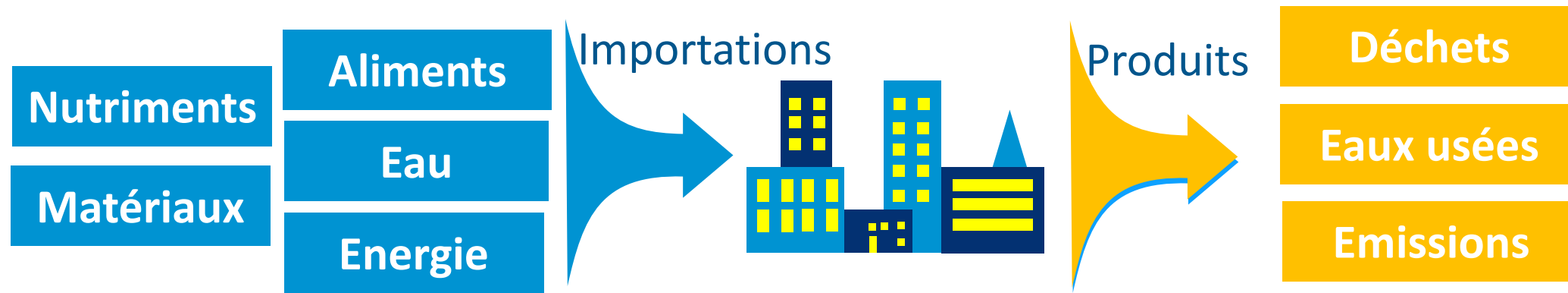
**Gestion intégrée de l'eau dans les villes du futur**

**Moteurs d'une économie verte**



# Métabolisme linéaire des villes

## Demands urbaines en eau, en énergie et en alimentation

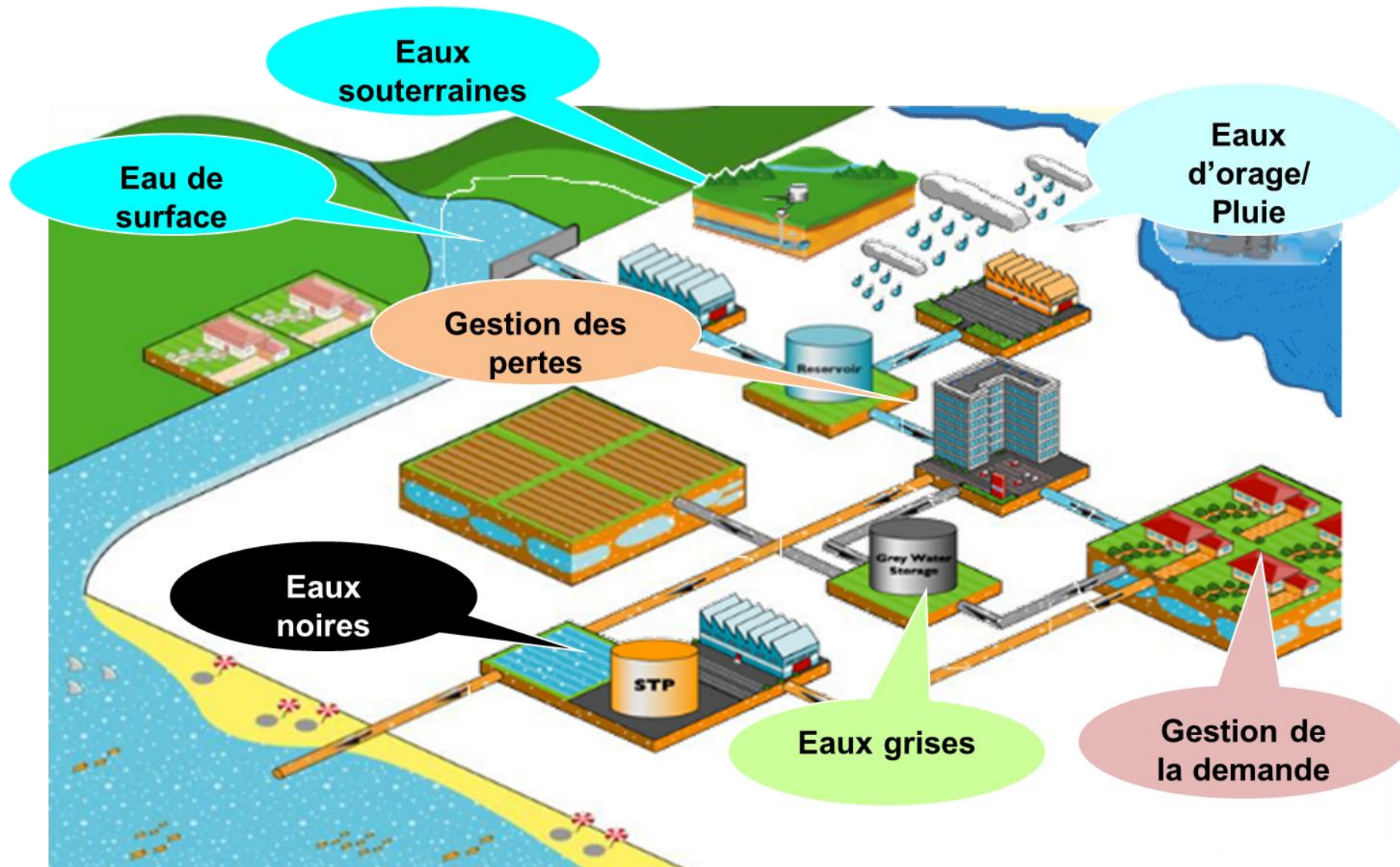


- Alors que les villes continuent de croître rapidement, il deviendra de plus en plus difficile et énergivore de répondre à la demande en eau
- Le développement urbain futur nécessite des approches qui minimisent la consommation de ressources et mettent l'accent sur la récupération des ressources

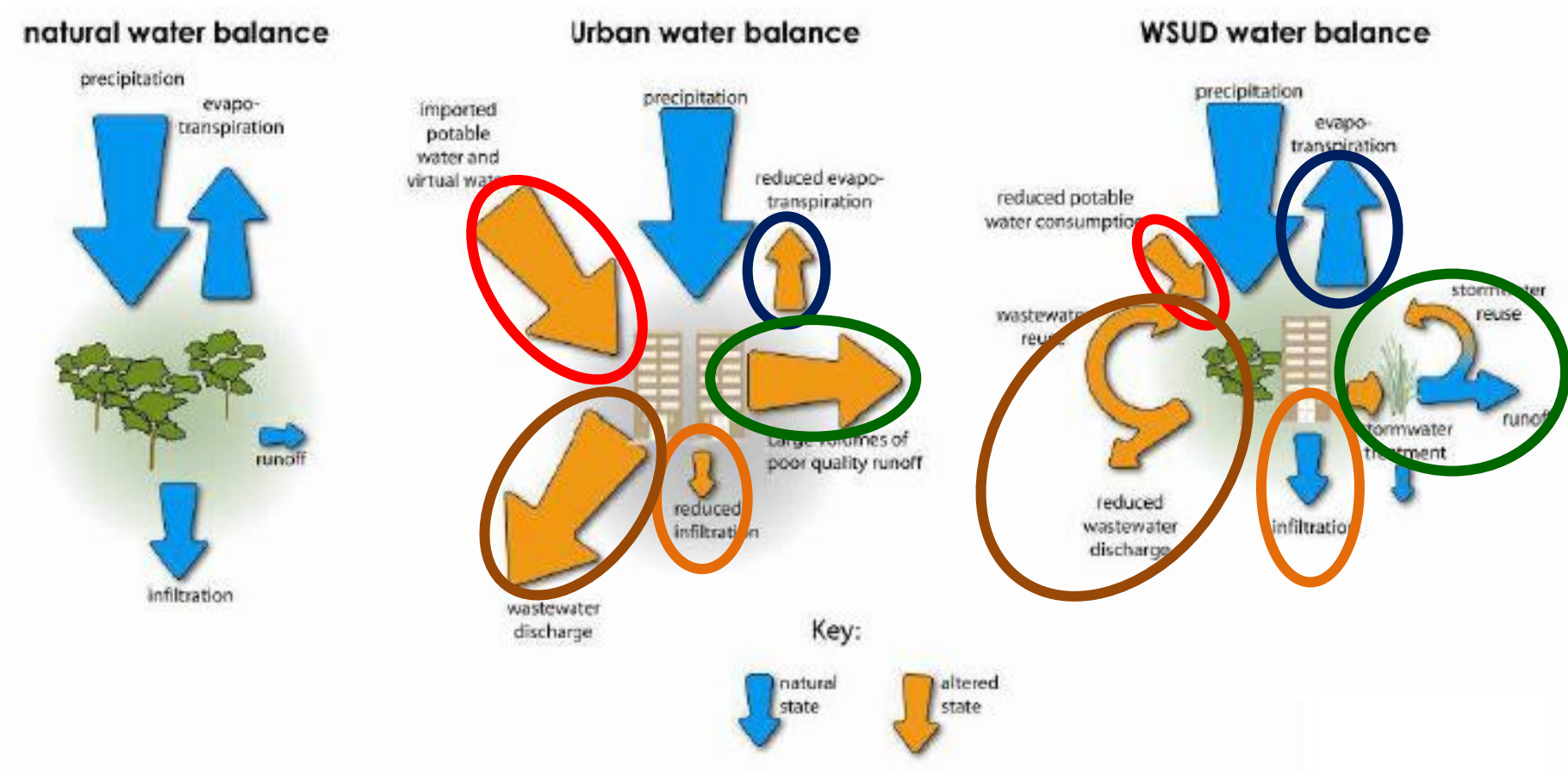




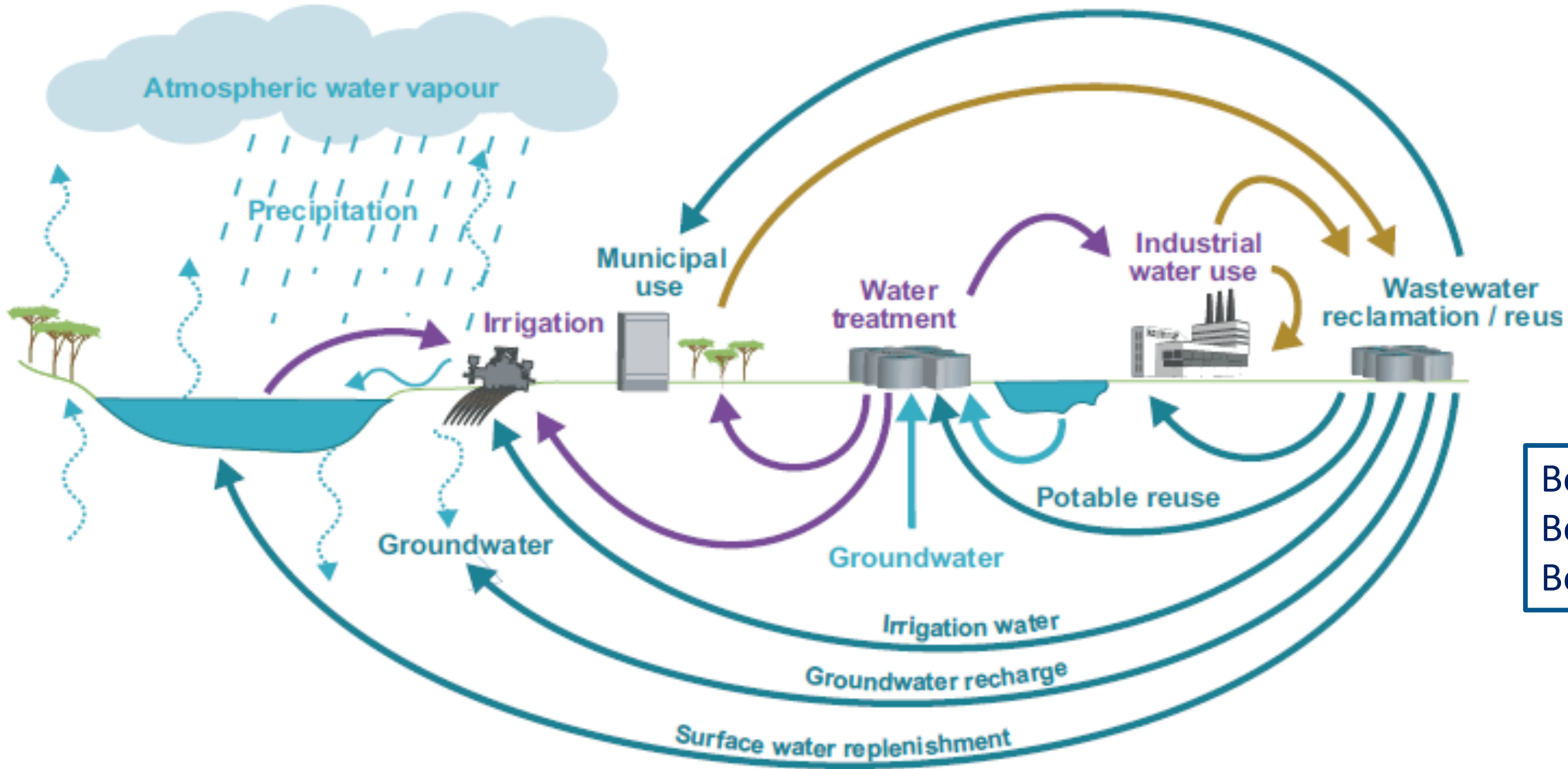
# Nous avons besoin d'une perspective systémique du cycle de l'eau



# Influence du design urbain sensible à l'eau sur le cycle urbain de l'eau



# Des flux de déchets aux flux de valeur



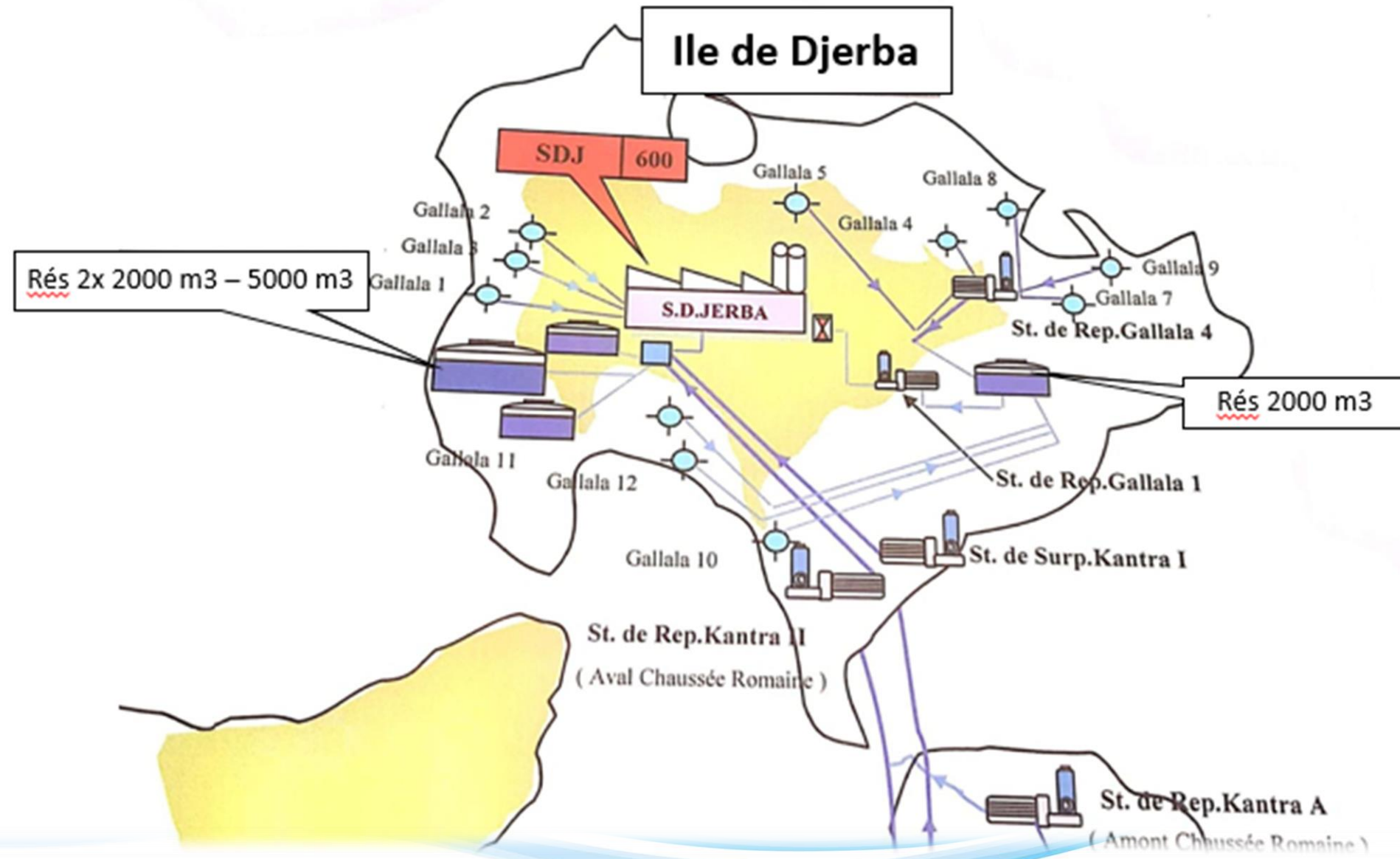
Boucle d'eau  
Boucle de matériaux  
Boucle d'énergie

Le rôle des stations de traitement et de reuse dans les multiples utilisations de l'eau tout au long du cycle de l'eau (d'après Asano et Levine, 1995)



# Territoires en transition hydrique – L'Île de Djerba

## Développer des villes et des territoires intelligents





**“L’eau ne devrait pas être jugée selon son histoire mais  
selon sa qualité”**

**(Dr. Lucas van Vuuren, Windhoek, Namibie)**



## **Changement de mentalité et d'approche**

**“passer d'un système conçu pour traiter les eaux usées pour pouvoir s'en débarrasser”**

**À**

**“un système inclusif où les déchets sont traités comme des ressources - faire de la production de ressources et de leur utilisation l'objectif du traitement et de la Water Reuse tout en protégeant la santé publique”**



# Conclusion

- L'amélioration de la gestion des EU et des BV génère des avantages sociaux, environnementaux et économiques, et est essentielle à la réalisation des ODDs
- Penser l'assainissement et la gestion des EU et des BV en termes de « **ressources** »: passer d'une gestion de flux de déchets à une gestion de **flux de ressources et de valeurs**
- **Approche systémique des enjeux et des politiques publiques intégrées** : eau, agriculture, biodéchets, excréments, énergie, systèmes alimentaires, santé, climat, ...
- **Approche intégrée de l'ensemble du cycle urbain de l'eau et/ou du bassin versant** adoptée avec prise en compte des besoins globaux en infrastructures et en capacités
- **Une nouvelle ère dans la gestion des EU et des BV** qui offre de fortes potentialités de transition écologique :
  - **Tri à la source**
  - **Systemes d'assainissement hybrides et inclusifs** à l'échelle de la ville
  - **Changement d'objectif du traitement: production de ressources** - eau, énergie, autres produits
- **Développer une vision commune et une stratégie à LT pour le développement et la gestion durable de la Water Reuse** qui guidera les politiques et futurs investissements
- Plusieurs **innovations avec de nouveaux modèles d'affaires et de nouvelles opportunités**
- Efforts globaux nécessaires avec la contribution de **toutes les parties prenantes**
- **Thématiques de recherche, nouveaux curricula de formation et métiers de l'eau**



**Merci de votre attention**