

Un nouveau paradigme : les eaux usées sont des ressources

Nicolas ROCHE

Aix-Marseille Université - CNRS

Centre Européen de Recherches et d'Enseignement en Géosciences de l'Environnement
Fédération de Recherche ECCOREV – Institut Méditerranéen pour la Transition Environnementale

Mohammed VI Polytechnic University (UM6P)

International Water Research Institute (IWRI)

Email: nicolas.roche@univ-amu.fr

 : @nicolasroche61

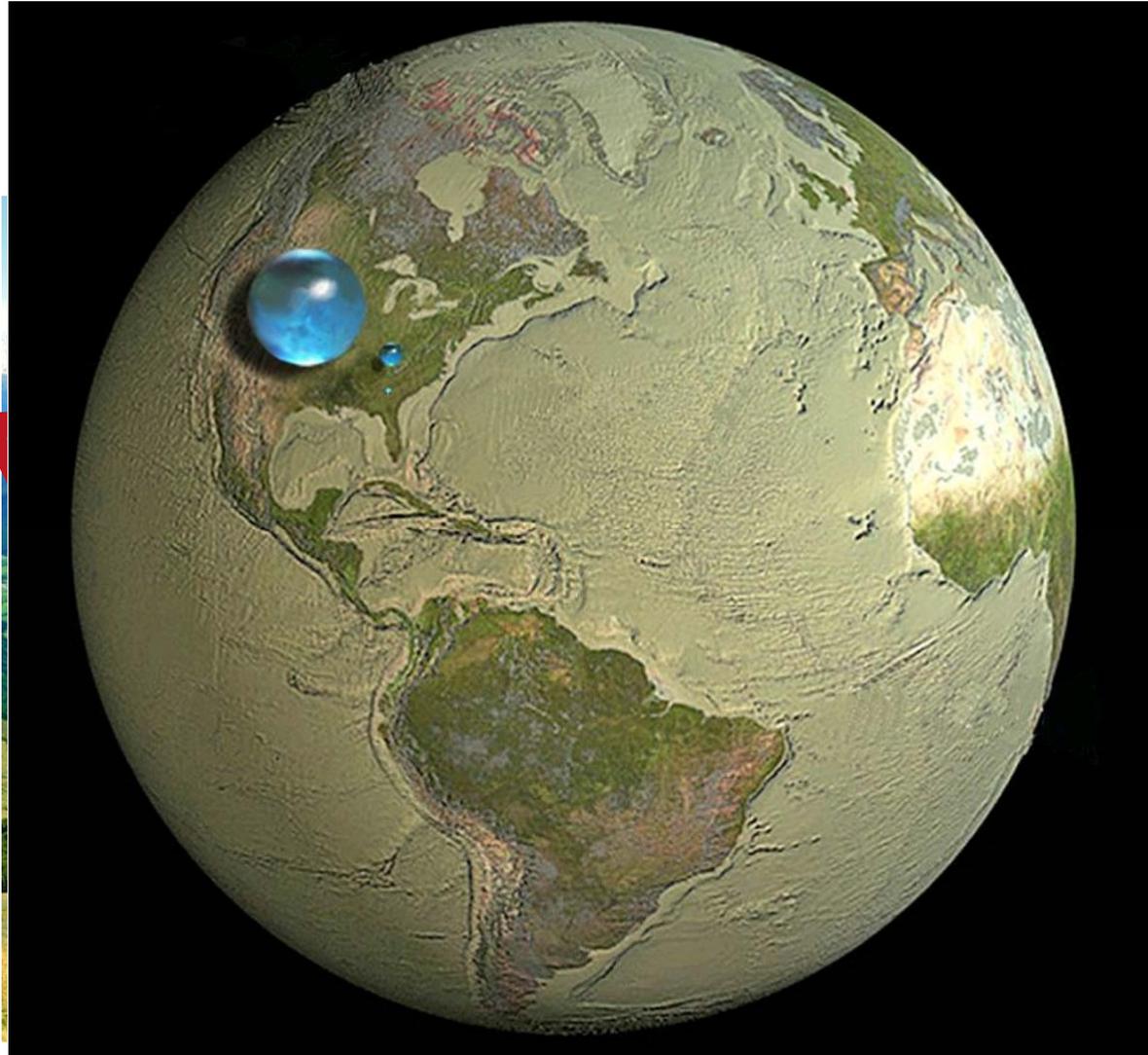


Water in the world

- Water needs present a major challenge for the world in the next ten years

Les ressources en eau douce en 2000
(écoulements moyens et ressources souterraines)

Continent	Water resources (m ³ /yr/ha)	Total withdrawals in 1995 (km ³ /yr)	Domestic use (%)	Industrial use (%)	Agricultural use (%)
Europe	4 240	455	12	40	48
North America	17 400	686	13	41	46
Africa	5 720	219	9	6	85
Asia	3 970	2 231	8	9	83
South America	38 300	167	18	11	71
Oceania	83 600	30,4	18	10	72
World	7 650	3 788	10	21	69





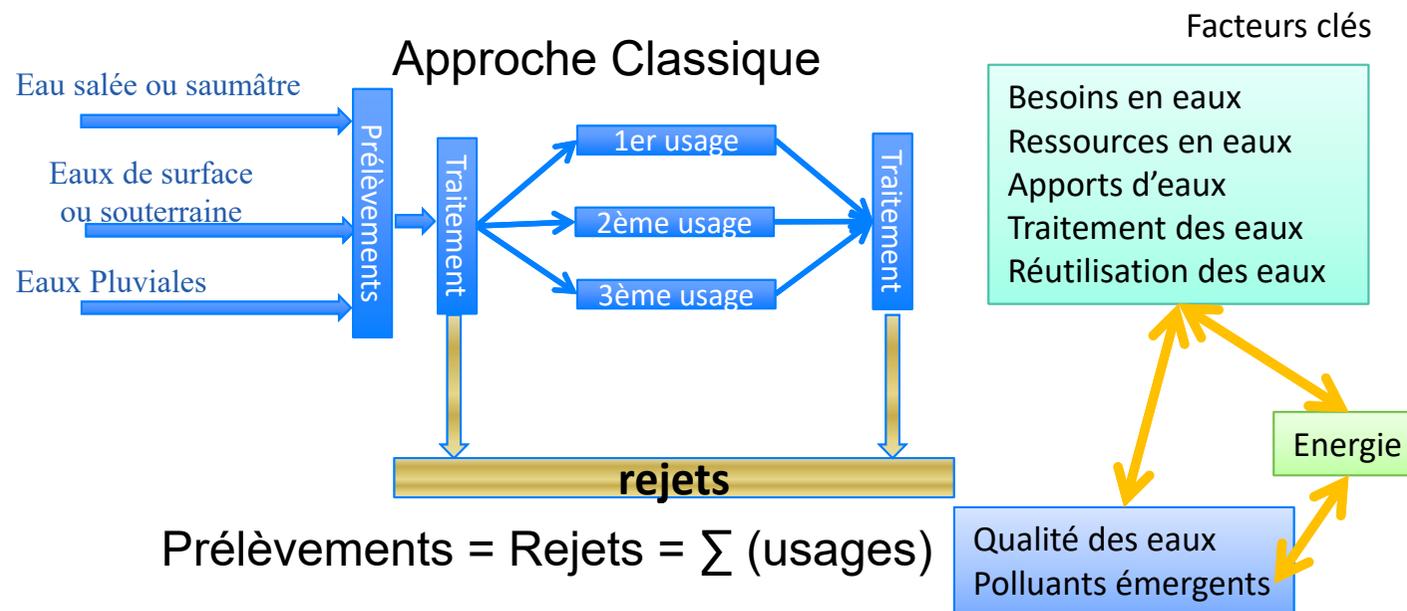
Les grands problèmes de l'eau

- ✓ 800 millions de personnes n'ont pas un accès direct à l'eau potable (+ 1,3 milliards 30 min A/R)
- ✓ Plus de 2 millions de personnes meurent tous les ans à cause de la pollution des eaux
- ✓ Il faut de l'énergie pour faire de l'eau potable, distribuer l'eau et traiter les eaux usées
- ✓ Il faut utiliser beaucoup d'eau pour faire de l'énergie, pour l'agriculture, pour l'industrie, pour le développement urbain
- ✓ Il faut prendre en compte la problématique des polluants émergents (aspects cumulatifs)



Revoir la manière d'utiliser l'eau

Réduction du cycle de l'eau et de la consommation énergétique



Approche simple et flexible qui nécessite de mobiliser beaucoup de ressources



Cycle d'usage de l'eau : besoins en énergie

Eau potable : 0,05 to 0,5 kWh/m³

Eaux usées : 0,3 to 1 kWh/m³

(peut être (doit être) réduit ou nul)

Traitement des boues: 0 to 1kWh/m³

(peut être (doit être) négatif)

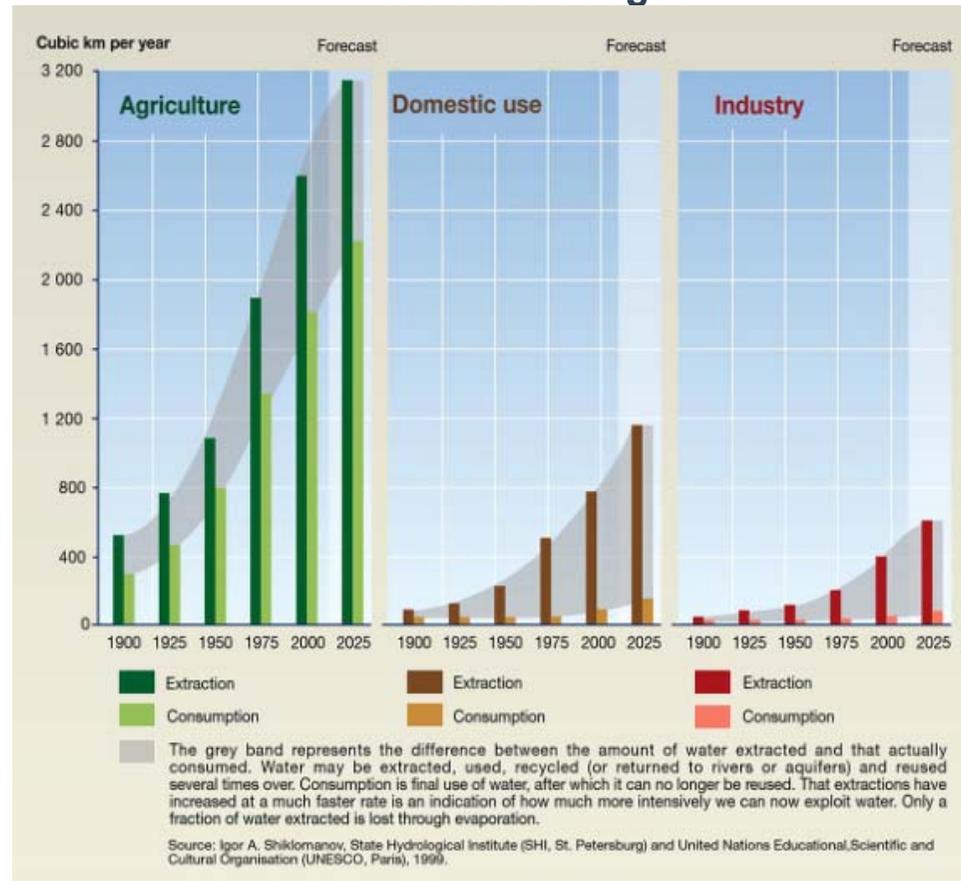
Dessalement :

- ✓ Distillation multi-effets: 10 to 15 kWh/m³
- ✓ Osmose Inverse: 3,5 to 7 kWh/m³
- ✓ Distillation basse pression: 2 to 3 kWh/m³



Eau prélevée – Eau utilisée

Efficacités d'usages

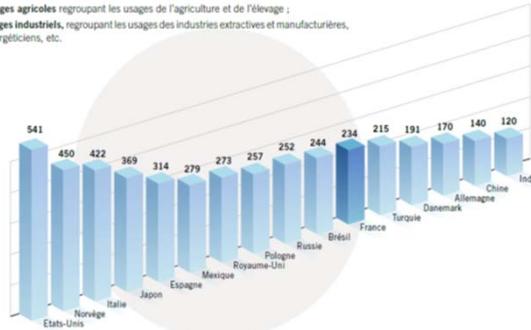


LES PRÉLÈVEMENTS EN EAU POUR LES USAGES DOMESTIQUES

Moyenne en litres par jour, ramenés au nombre d'habitants

On distingue 3 grandes catégories d'usages :

- les usages domestiques, regroupant les usages des ménages et des activités économiques, principalement tertiaires (commerces, bureaux, hôpitaux, écoles...);
- les usages agricoles regroupant les usages de l'agriculture et de l'élevage;
- les usages industriels, regroupant les usages des industries extractives et manufacturières, les énergéticiens, etc.



Source : BPE of earth's water, Aqueduct, Cornat, 2005

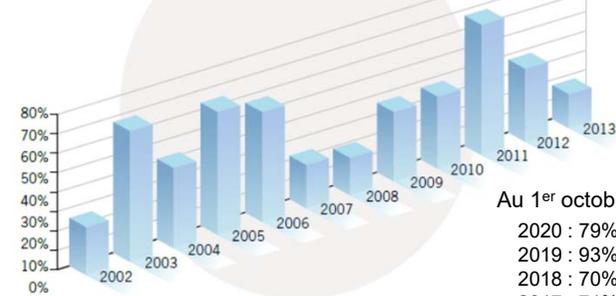
Eau : l'Or Bleu

4 milliards de m³ par an à 3,54€/m³ en moyenne = 14 milliards €/an, soit 39 millions d'euros par jour.
140€/an.hab (82€ : assainissement et 68€ potabilisation)

Liens eaux-énergie :

120 kWh/an.hab (assainissement, potabilisation distribution)
600 kWh/an.hab (eau chaude sanitaire)

PART DES DÉPARTEMENTS FRANÇAIS TOUCHÉS PAR DES ARRÊTÉS DE RESTRICTIONS D'EAU



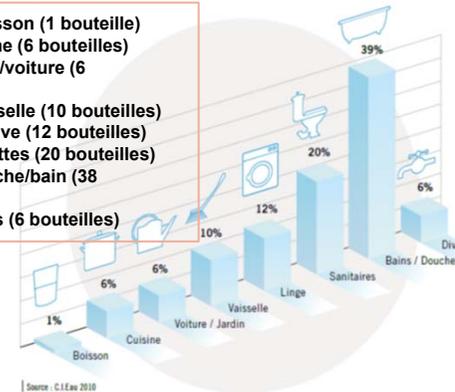
Au 1^{er} octobre

2020 : 79%
2019 : 93%
2018 : 70%
2017 : 71%

Source : BPE, d'après MEDDE - Eaufrance - site PROPLUVA, 2014

RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION D'EAU SELON LES DIFFÉRENTS USAGES DOMESTIQUES

- 1,5 litres : boisson (1 bouteille)
- 9 litres : cuisine (6 bouteilles)
- 9 litres : jardin/voiture (6 bouteilles)
- 15 litres : vaisselle (10 bouteilles)
- 18 litres : lessive (12 bouteilles)
- 30 litres : toilettes (20 bouteilles)
- 58 litres : douche/bain (38 bouteilles)
- 9 litres : divers (6 bouteilles)



Source : C.I.Eau 2010



Quelles autres ressources pour subvenir aux besoins ?

Eaux dites non conventionnelles :

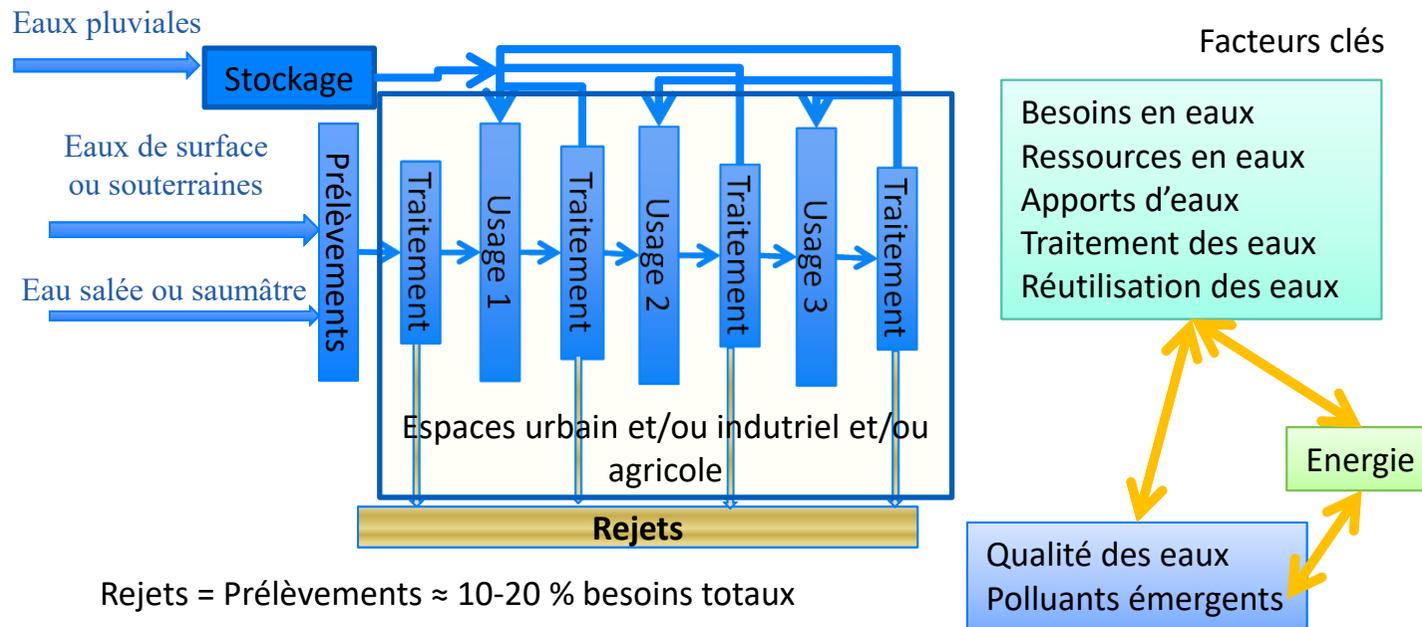
- i. Dessalement d'eau de mer (**disponibilité**, **coût**, **impact environnemental**)
- ii. Nappes profondes (**disponibilité**, **impact environnemental**)
- iii. Glace et glaciers (**disponibilité**, impact environnemental, **transport**)
- iv. Stockage de l'eau pluviale (**disponibilité**, **intermittence**, **temporalité** en contradiction avec la variabilité des besoins)
- v. **Réutilisation des eaux usées traitées**

... 450 millions de m³ d'eaux usées sont collectés et traités chaque jour dans le monde avant rejets ... (i.e. 150 l/jour pour 3 milliards d'habitants !)



Revoir la manière d'utiliser l'eau

Réduction du cycle de l'eau et de la consommation énergétique
Le traitement des eaux usées au coeur de cette approche



Rejets = Prélèvements ≈ 10-20 % besoins totaux

Approche complexe, solution unique, moins de ressources mobilisées



Le traitement des eaux usées

La problématique de l'eau sur le pourtour de la méditerranée en quelques chiffres :

- 200 M d'habitants (500 millions au total pour tous les pays côtiers)
- 300 M de touristes par an (30% du tourisme mondial), 500 M en 2030
- Secteur du tourisme : 12% des emplois et 12% du PIB de la zone

- Consommations d'eau des habitants : 50 à 120 litres/habitant.Jour
- Consommations d'eau touristiques : 300 à 700 litres/touriste.Jour

Inadéquation totale du modèle classique, épuisement des ressources et conflit d'usages notamment avec l'agriculture

Adapted from a map by Ahlenius, H.,
<https://maps.grida.no/go/graphic/ratio-wastewater-treatment>
Sources: UNEP-GPA, 2004.

Treated





Les procédés traitements des eaux usées

Prétraitement

BRM

Intensif

Changement des contraintes de dimensionnement et de fonctionnement :

- Nouvelles échelles (great is beautiful → small is smart)
- Nouveau niveaux et paramètres de traitement, en fonction des usages et non du milieu récepteur
- Séparation des effluents à la source en fonction des options de valorisation
- Associations innovantes de procédés (polluants émergents)
- Procédés « locaux »
- Valorisation énergétique du cycle d'usages de l'eau

Filtration (sable,
membranes)

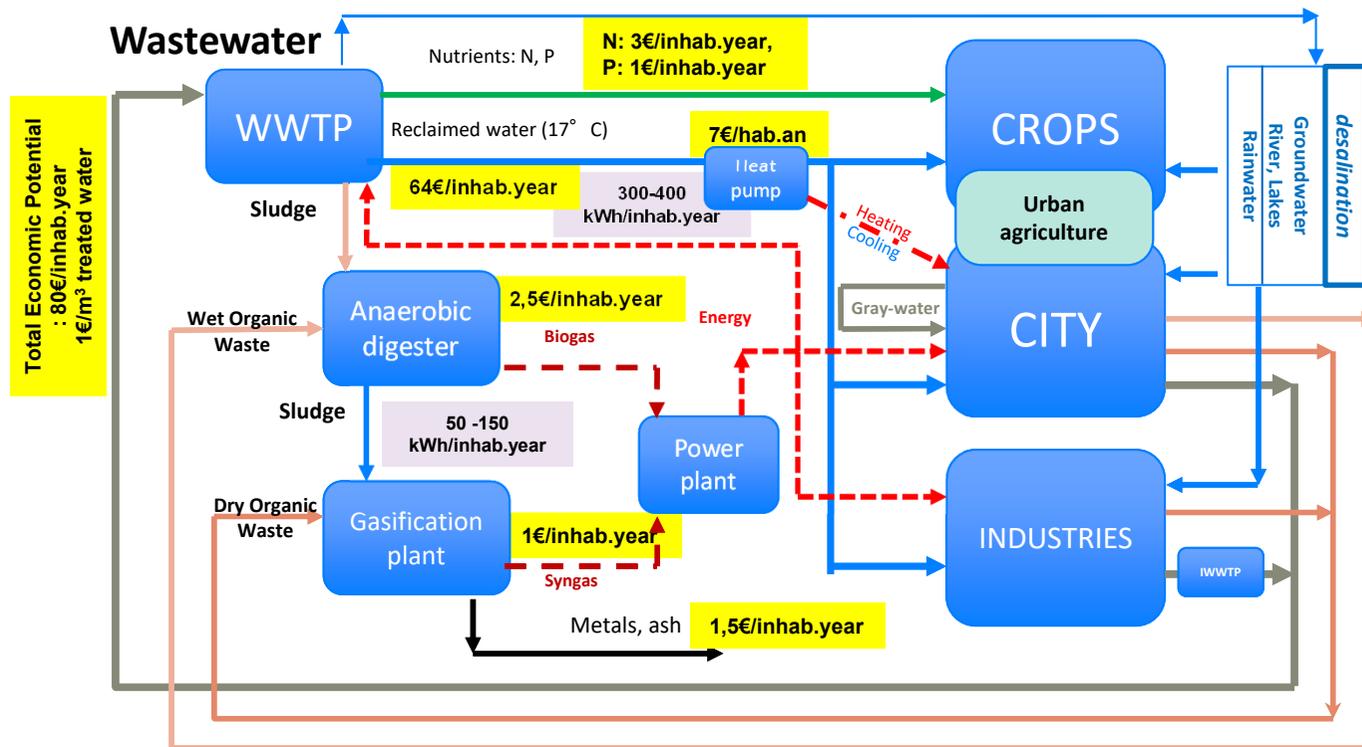
Infiltration /
Percolation

Désinfection
(Chlore, UV, Acide
Péacétique, ozone,
filtrations, ...)

Flottation

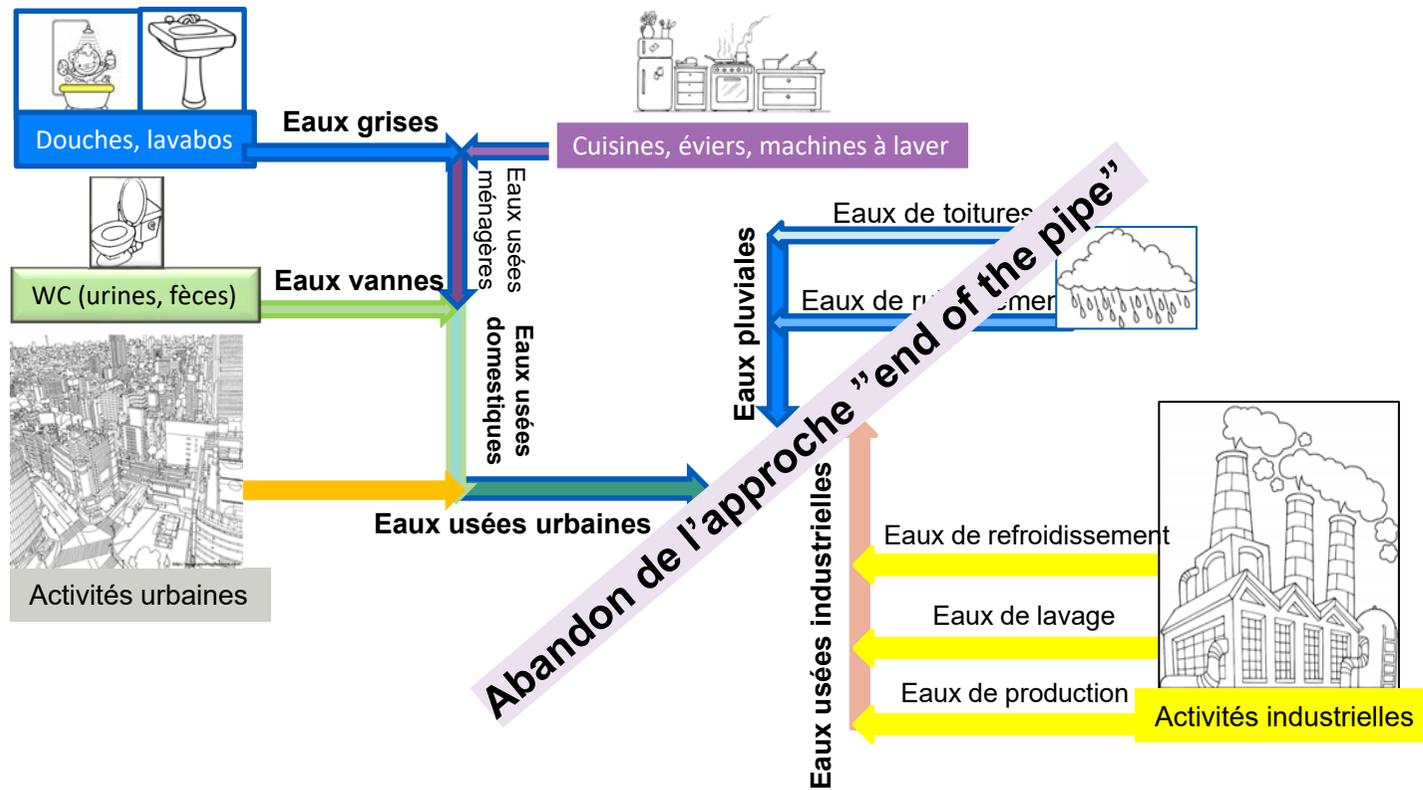
Lagunage

Les eaux usées sont une ressource (matières et énergie) : schéma, potentiels



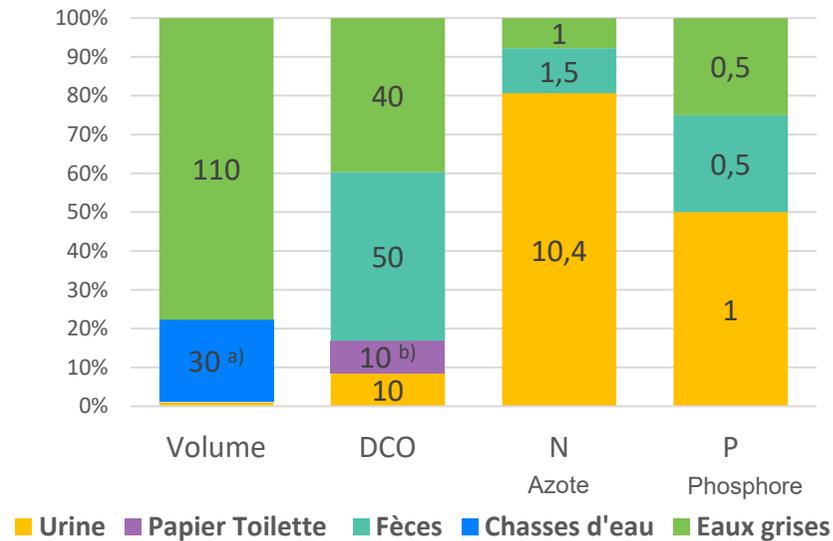


Les différents types d'eaux usées





Séparation à la source : valorisation & ségrégation des risques



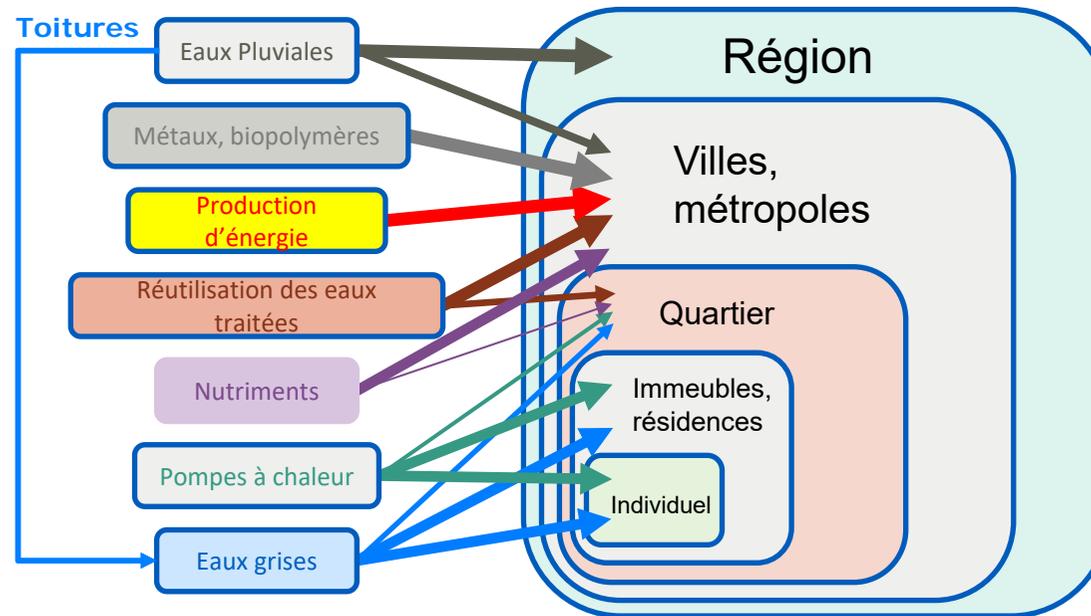
Valeurs : en g/pers/j et L/pers/j

(F. Meininger et Oldenburg 2009) ^{a)}(F. Meininger, et al., 2010 ^{c)} à partir de (Friedler, et al., 1996; Almeida, et al., 1999)

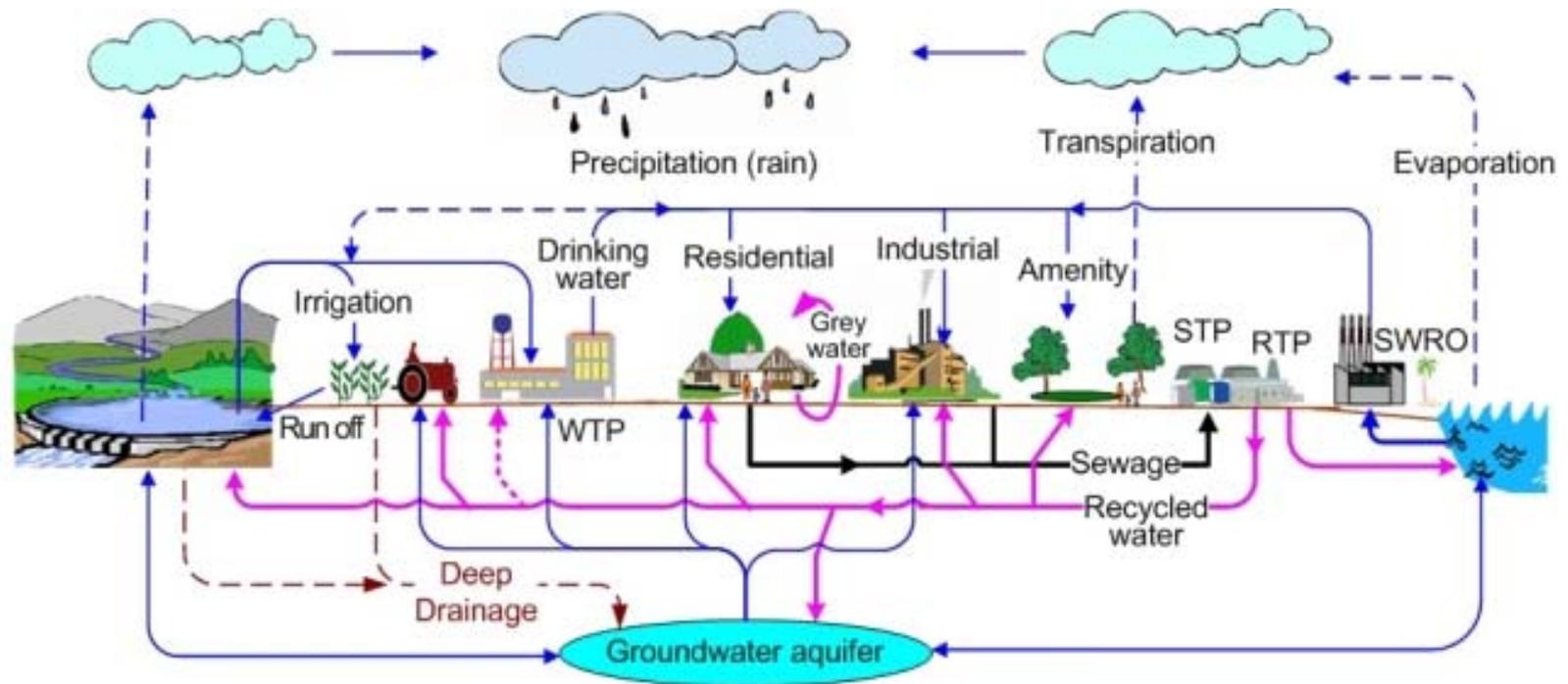
Risques liés à la présence des pathogènes :
Fèces (96%), Eaux Grises (3%), Urines (1%)

Risques liés à la présence de résidus médicamenteux : Urines (67%), Fèces (33%)

Les eaux usées sont des ressources : quelles échelles ?



Brisbane water cycle

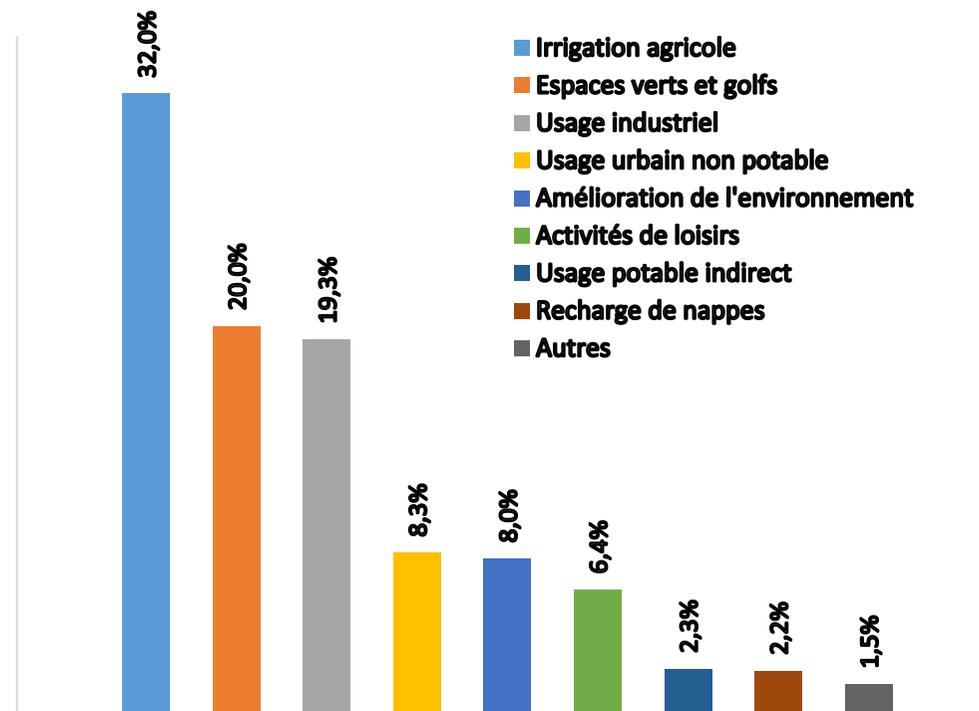


Urban Reclaimed Water Use Approval Ratings

Recycled water use	Number (%) of respondents who use	Number (%) of respondents who don't use	Number (%) don't know / refused
Toilet flushing	259 (96.3%)	3 (1.1%)	7 (2.6%)
Garden watering	260 (96.7%)	8 (3.0%)	1 (0.4%)
Car washing	212 (78.8%)	51 (19.0%)	6 (1.1%)
Clothes washing	13 (4.8%)	247 (91.8%)	9 (3.3%)
Drinking	4 (1.5%)	263 (97.8%)	2 (0.7%)
Cooking	2 (0.7%)	264 (98.1%)	3 (1.1%)
Showering	4 (1.5%)	262 (97.4%)	3 (1.1%)

Hurlimann, A., 2008. *Community Attitudes to Recycled Water Use: an Urban Australian Case Study*; Salisbury: The Cooperative Research Centre for Water Quality and Treatment.

Répartition des volumes des eaux usées traitées réutilisées par usage (monde)



Source: GWI/PUB Water Reuse Inventory, 2010

Multiplicité des scénarii, choix des procédés

S. Sadr et al., Journal of Environmental Management, 156 (2015) 97-108

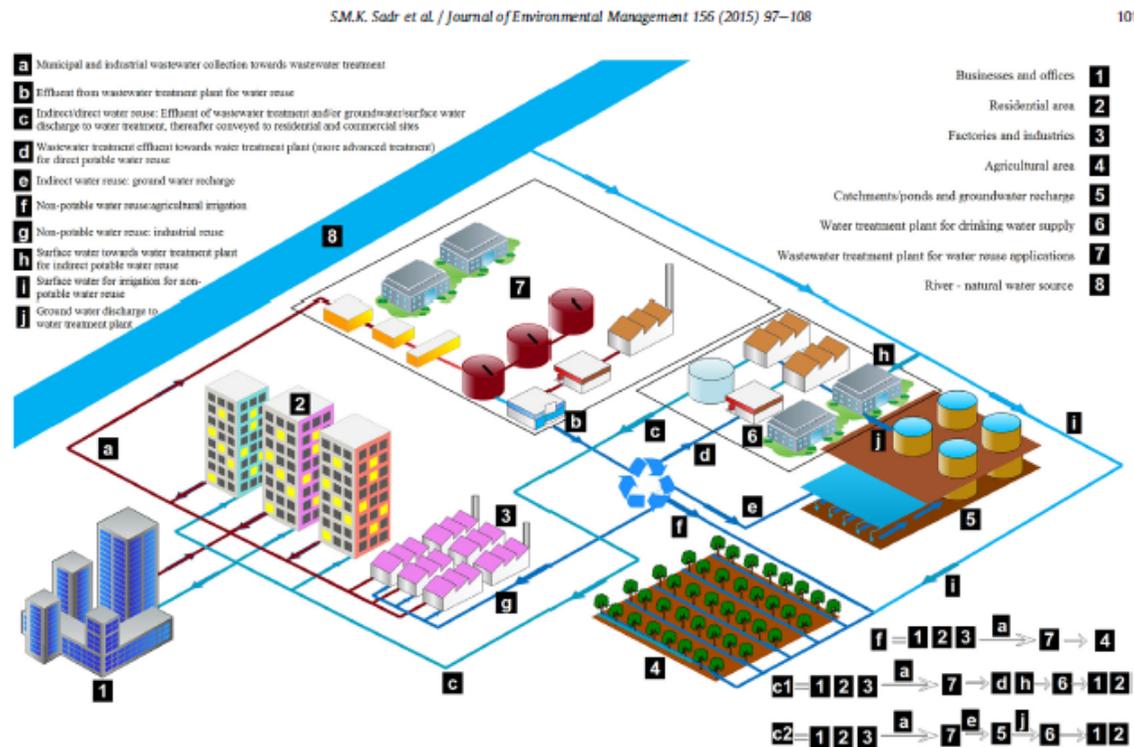


Fig. 2. Illustration of the different possible water reuse applications within a community.

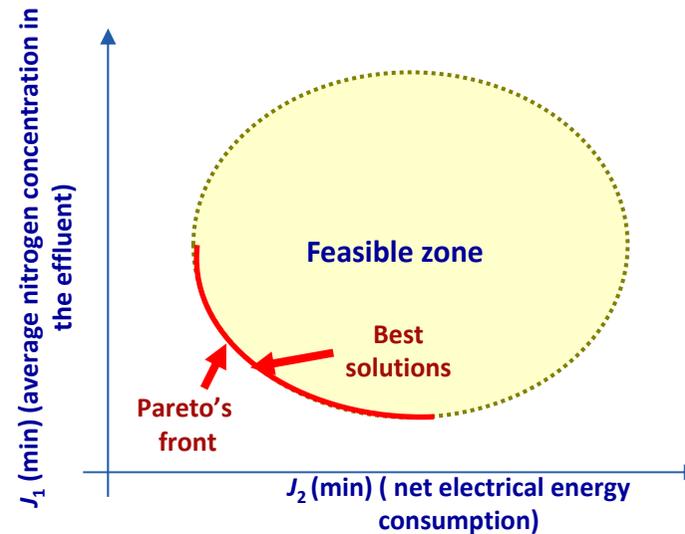
Outils d'optimisation dynamique : Exemples des STEP

Process model: 93 ordinary differential equations:

- Biochemical reactions described by [the ASM1 model](#).
- Liquid-Solid separation described by [the Takács model](#).
- Influent characteristics reflect [typical disturbances](#).

Objective functions :

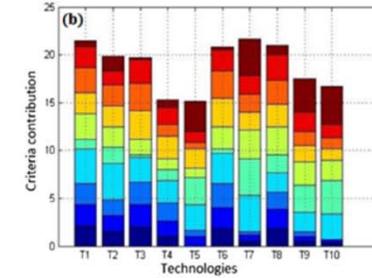
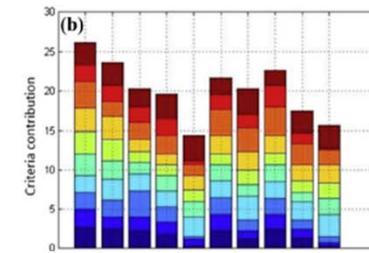
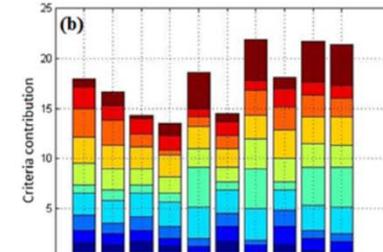
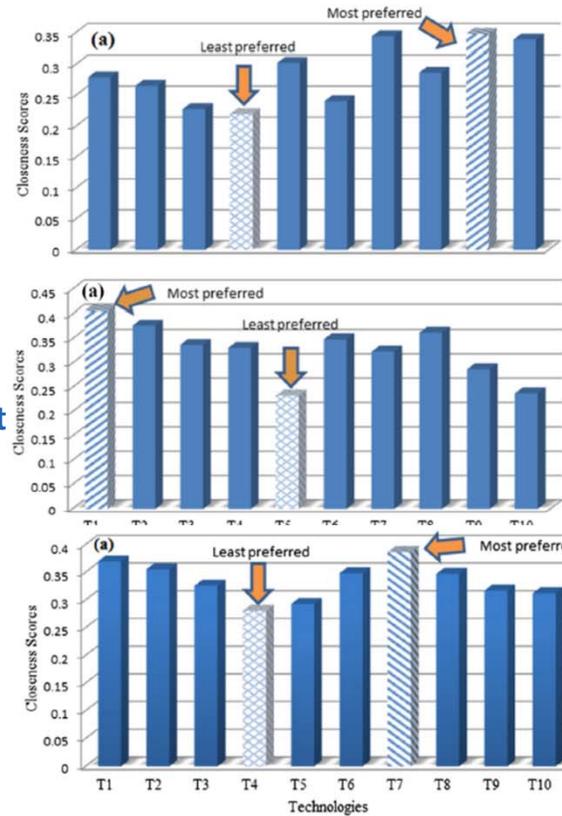
- J_1 = pumping + aeration + mixing + sludge dewatering
– electrical generation from sludge incineration
- J_2 = mean nitrogen concentration in the effluent



Réutilisation directe
Pays développés

Réutilisation indirecte
Pays en développement

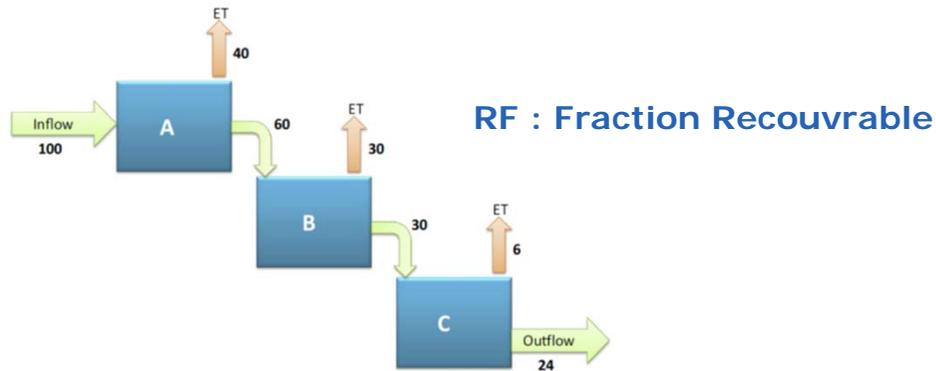
Réutilisation indirecte
Pays développés



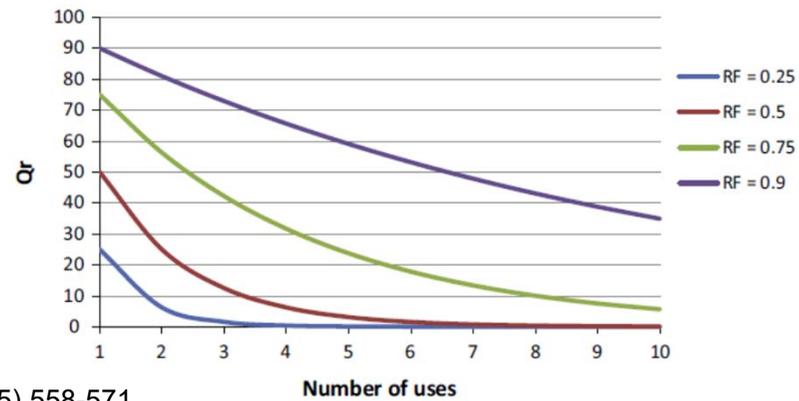
T1: Primary treatment + iMBR (Aerobic treatment + MF/UF) + Disinfection
 T2: Primary treatment + iMBR (Anaerobic + Anoxic + Aerobic + MF/UF) + Disinfection
 T3: Primary treatment + CASP (Anoxic + Aerobic) + MF/UF + Disinfection
 T4: Primary treatment + CASP (Anaerobic + Anoxic + Aerobic) + MF/UF + Disinfection
 T5: Primary treatment + CASP (Anaerobic + Anoxic + Aerobic) + MF/UF + NF/RO + Disinfection
 T6: Primary treatment + Anaerobic treatment + MF/UF + Disinfection
 T7: Primary treatment + iMBR (Anoxic + Aerobic + MF/UF) + NF/RO + Disinfection
 T8: Primary treatment + Chemically enhanced primary treatment + MF/UF + Disinfection
 T9: Primary treatment + Chemically Enhanced Primary Treatment + MF/UF + NF/RO + Disinfection
 T10: Primary treatment + Coagulation flocculation + sand filtration + MF/UF + NF/RO + Chlorination + UV

C1: Capital cost
 C2: Operation & maintenance Cost
 C3: Energy consumption
 C4: Impact on the environment
 C5: Community acceptance
 C6: Adaptability
 C7: Ease of construction and deployment
 C8: Land requirement
 C9: Level of complexity
 C10: Water quality and reliability

Impacts des usages sur la réutilisation



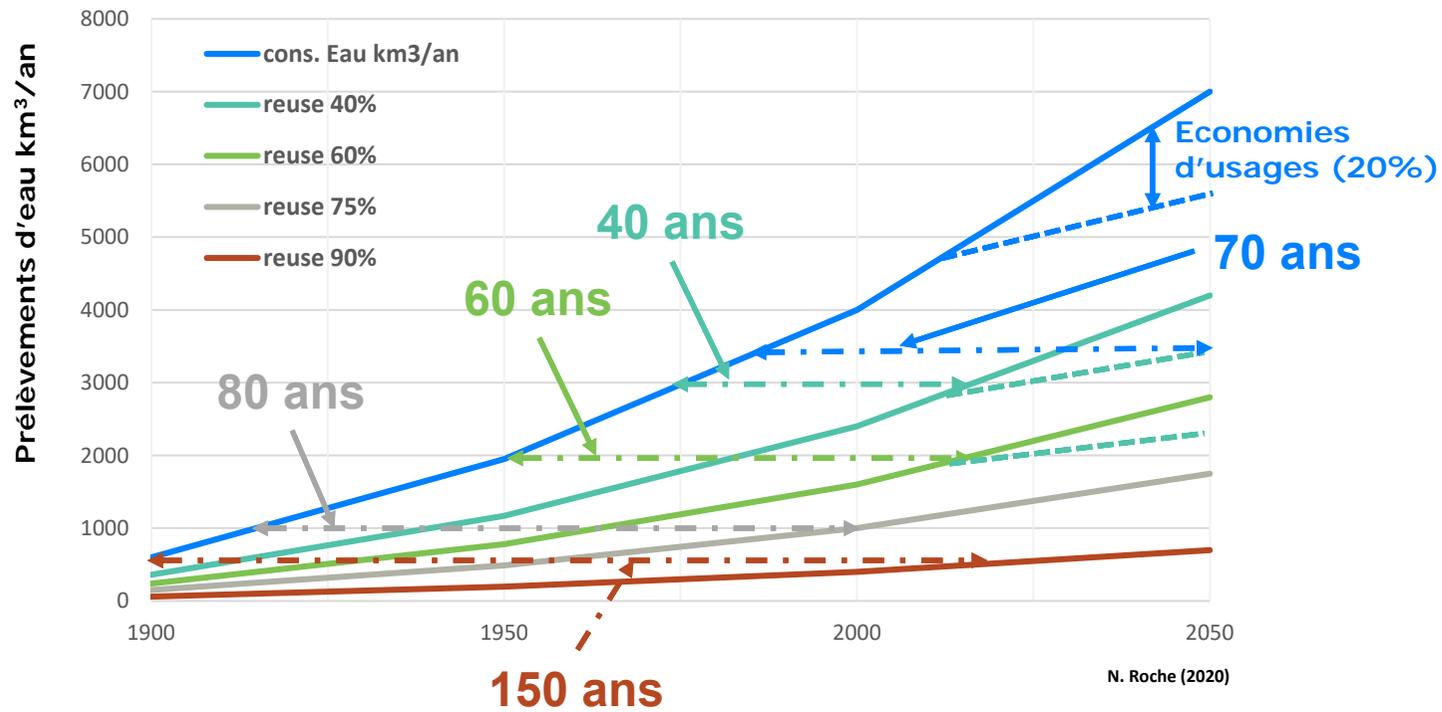
Evolution de la fraction de débit disponible



J. Simons et al., Journal of Hydrology, 522 (2015) 558-571



Impact de la REUT dans le temps





Les eaux usées sont des ressources : facteurs clés

Facteurs politiques et décisionnels :

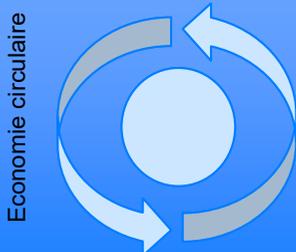
- Fonds disponibles
- Lois, planification et critères existants
- Potentiels de REUT (agricole, urbaine, domestique, industrielle)
- Volonté politique

Facteurs technologiques :

- Systèmes centralisés ou décentralisés
- Qualité, quantité des eaux usées et variabilité saisonnière
- STEP existante ou non
- Performances de la STEP et qualités requises après traitement
- Facilité d'opération
- Polluants émergents

Approche globale

Economie circulaire



Réutilisation durable de l'eau

Récupération des ressources

Facteurs socio-économiques :

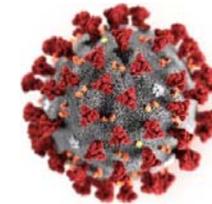
- Coûts du traitement (inv. + fonc.)
 - Perception sociétale
- Demande en eau récupérée
- Croissance du marché grâce à la re-use
 - Disponibilité de la ressource (sécheresse, WSI)

Facteurs environnementaux :

- Qualité du milieu récepteur (eau, sols, biodiversité, ...)
- Climat & changement climatique
 - Impacts environnementaux sur l'eau, l'air, les sols
 - Consommation énergétique
- Emissions de gaz à effet de serre
- Topographie et caractéristiques du site



Les eaux usées et la COVID-19 en quelques slides





De nombreux agents pathogènes sont présents dans les excréments et eaux usées

Plus de 100 agents pathogènes sont présents en grand nombre dans les matières fécales et peuvent provoquer :

- ✓ des maladies aiguës (hépatite et diarrhée, maladie respiratoire)
- ✓ des maladies chroniques (inflammation cardiaque, cancer, troubles neurologiques, lésions hépatiques, insuffisance rénale, maladies cardiaques, cancer, troubles du système nerveux),
- ✓ des malformations congénitales,
- ✓ De la mortalité



Virus
Rotavirus
HAV
Norovirus



Bactéries
Cholera, Typhoid
Vibrio, E.coli,
Salmonella,
Legionella



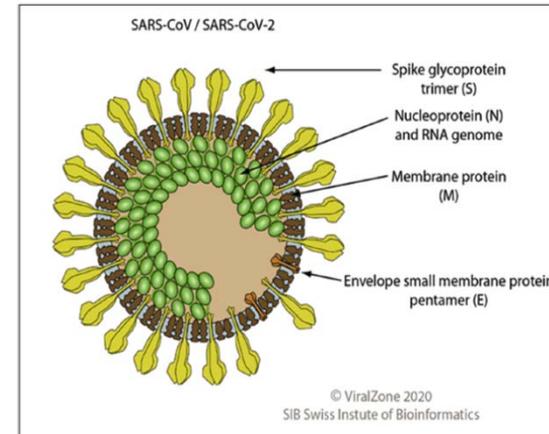
Protozoaires
Cryptosporidium
Giardia
Entamoeba Histolytica



Œufs d'Helminthes
Hookworm



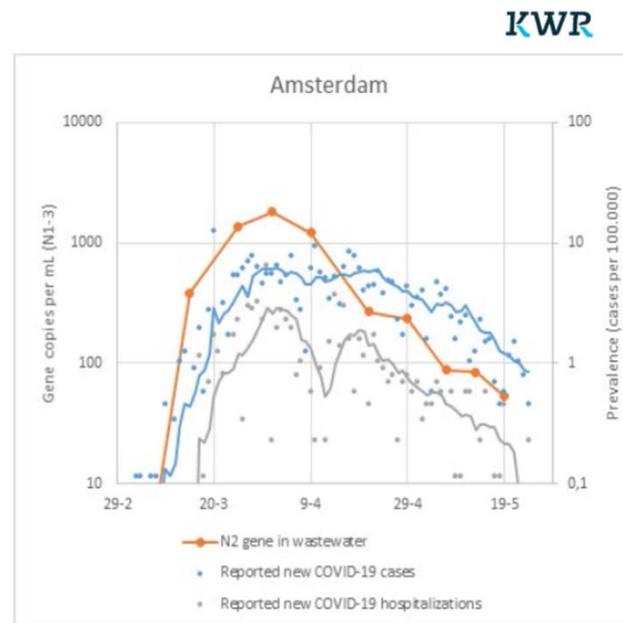
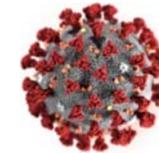
SARS-CoV-2 dans les eaux usées



- ✓ Le SARS-CoV-2 a été détecté dans les eaux usées urbaines et hospitalières mais jamais sous une forme active.
- ✓ Le SARS-CoV-2 possède une enveloppe lipidique hydrophobe avec une tendance forte d'adhésion sur les solides
- ✓ Dans les réseaux d'eaux usées, le SARS-CoV-2 peut survivre 14 jours à 4 °C et 2 jours à 20 °C.
- ✓ Le SARS-CoV-2 est moins présent dans les eaux usées que les autres virus humains, notamment les entérovirus. Il est néanmoins un bon indicateur de la pandémie.



Surveillance de présence de trace de SARS-CoV-2 dans les réseaux d'eaux usées au Pays-Bas (Mars 2020)

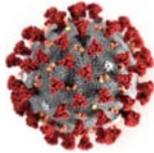


Les traces de SARS-CoV-2 (signal ARN) dans les réseaux d'eaux usées sont détectées 6 jours avant que des nouveaux cas soit reportés



Location of institutes (planning) sewage surveillance of COVID-19



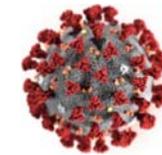


Recommandations OMS pour les eaux

- ✓ Les consignes générales données par l'OMS pour l'exploitation des services de production d'eau potable en période de pandémie virale restent valables et suffisantes.
- ✓ Le SARS-CoV-2 est sensible aux procédés classiques de désinfection des eaux (chlore résiduel supérieur à 0,5 mg/l après 30 min. de temps de contact)
- ✓ Par rapport aux risques habituels dans les eaux usées, il n'y a pas de surrisque. Mise en place, comme dans toutes les entreprises, d'un protocole pour limiter et empêcher les contaminations interpersonnelles par des mesures barrières et de distanciation sociale.
- ✓ Les guidelines actuelles pour la réutilisation des eaux usées notamment en termes de désinfection et une protection standard des personnels des STEP sont suffisantes.
- ✓ Pour ce qui est de l'environnement en général, il apparaît important de surveiller les zones sujettes à des contaminations fécales (notamment les zones de baignades)



Quelques liens utiles



Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

- ✓ COVID-19 information
<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>
- ✓ WASH Technical Brief <https://www.who.int/publications-detail/water-sanitation-hygiene-and-waste-management-for-covid-19>
- ✓ Hand hygiene: https://www.who.int/gpsc/clean_hands_protection/en/
- ✓ Using gloves:
https://www.who.int/gpsc/5may/Glove_Use_Information_Leaflet.pdf

Guides spécifiques :

- ✓ US: <https://www.epa.gov/coronavirus/coronavirus-and-drinking-water-and-wastewater>
- ✓ Australia: <https://watersource.awa.asn.au/featured-news/a-practical-guide-on-covid-19-for-the-water-industry/>



MERCI DE VOTRE ATTENTION



Dusseldorf bank, 1956

Ce conte de fées ne sera
probablement jamais réalité

La vie vous apprend à être
intelligent et économiser

**! Alors nous contribuerons pour
qu'il se réalise !**

Email: nicolas.roche@univ-amu.fr

 : @nicolasroche61

Conférence-débat Institut Méditerranéen de l'Eau
16 novembre 2020 - Marseille