



➤ REUSE Urbaine et résilience des villes

**Pascal Molle – Jaime Nivala** UR REVERSAAL – Lyon France

**Mathieu Sperandio** – TBI – INSA de Toulouse

## ➤ Le Réseau REUSE INRAE

<https://www6.inrae.fr/reuse>

### 4 domaines d'application

- REUSE en milieu rural
- **REUSE urbaine**
- REUSE pour l'industrie
- REUSE dans les pays du sud

L'ensemble du petit cycle de l'eau va devoir être repensé pour **transformer la ville et y intégrer de nouveaux services** (agriculture urbaine, lutte contre les ilots de chaleur et les inondations, zone récréatives...). La réutilisation des eaux usées traitées (ou "REUSE"), au cœur du nexus eau-énergie-matière-environnement est **un levier majeur pour accompagner la mutation du territoire urbain**, notamment en raison du nombre de leviers disponibles pour jouer sur sa gestion, son traitement ou comme objet d'aménagement urbain



## ➤ L'eau en milieu urbain – les usages

### Récréatif

- Espaces verts
- Terrains de sports
- Golf
- ...



### Usages Urbains

- Lavage des voiries
- Hydrocurage des réseaux
- Réserve incendie
- Lavage voitures
- ...



### Usages domestiques

- Flushing des toilettes
- Irrigation jardin
- ...



### Irrigation cultures

- Agriculture périurbaine
- Fermes urbaines
- Agricultures urbaines
- ...



### Milieu naturel

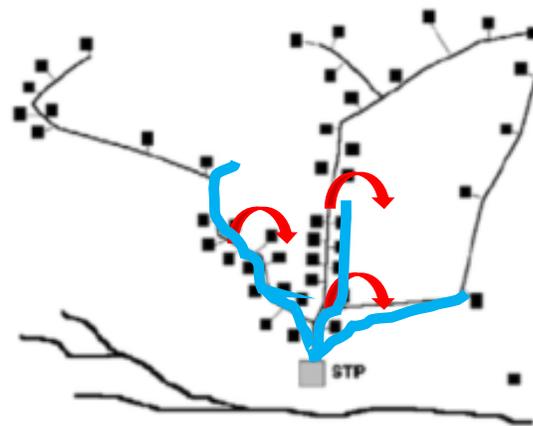
- Recharge de nappes
- Zones humides
- Débits d'étiage
- ...



Ces usages sont dispersés sur l'ensemble du territoire urbain

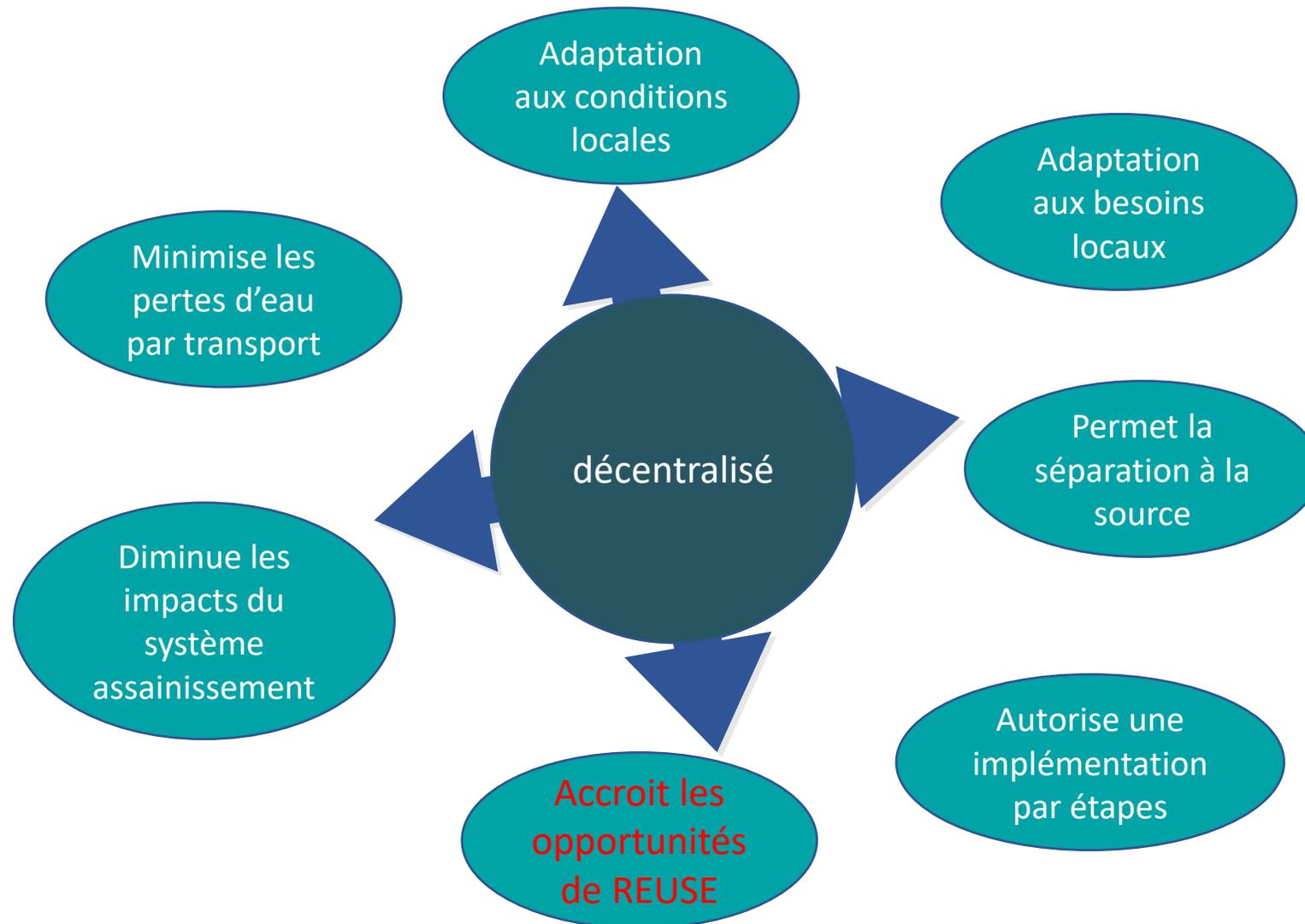
## ➤ L'approche décentralisée pour accroître le potentiel reuse

- Traiter proche de l'usage
- Limiter les impact sur le milieu
- Limiter le coût

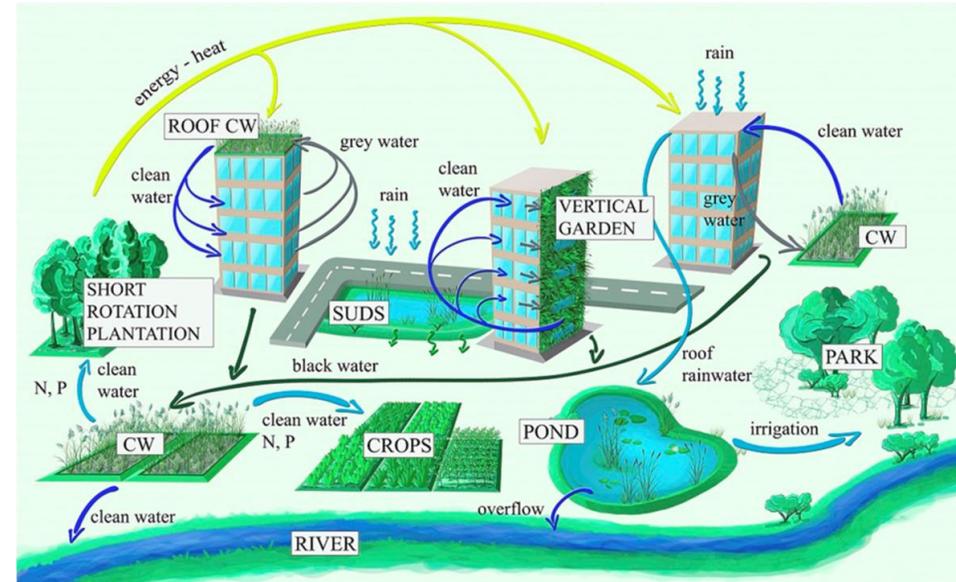
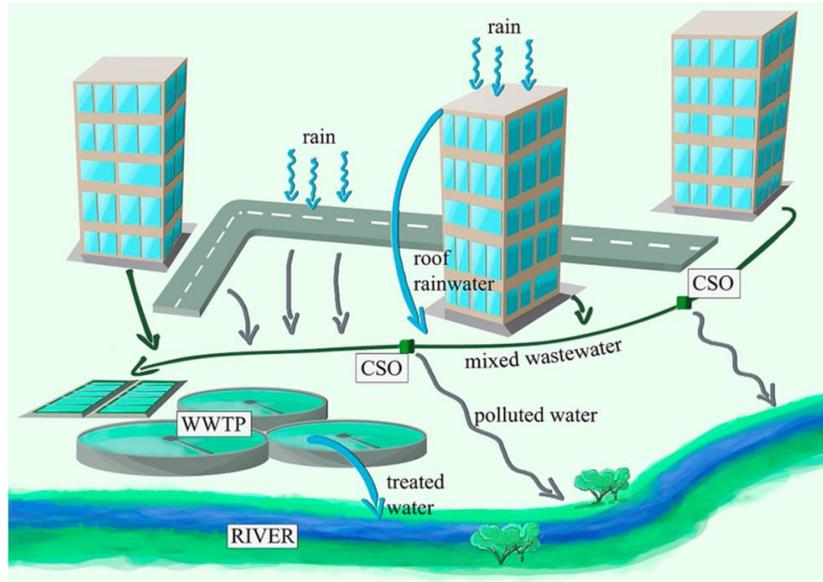


 Déversements en temps de pluie

## ➤ L'approche décentralisée pour accroître le potentiel reuse



## ➤ Une opportunité pour transformer la ville

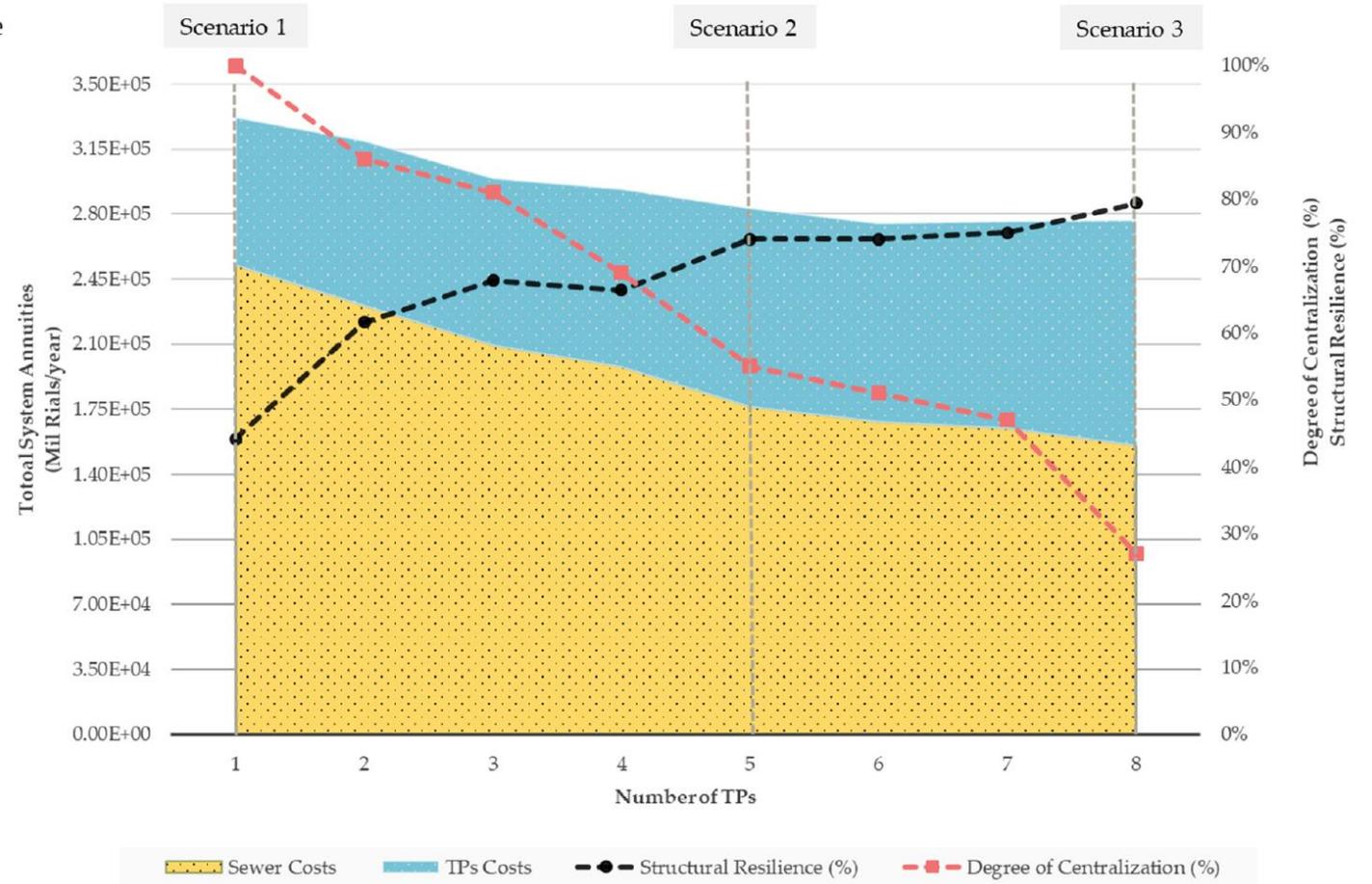


Masi et al. (2018) Journal of Environmental Management, Vol. 216, 275-284

# ➤ Rendre les infrastructures plus résilientes

Toward Decentralised Sanitary Sewage Collection Systems: A Multiobjective Approach for Cost-Effective and Resilient Designs

Article in Water - July 2021

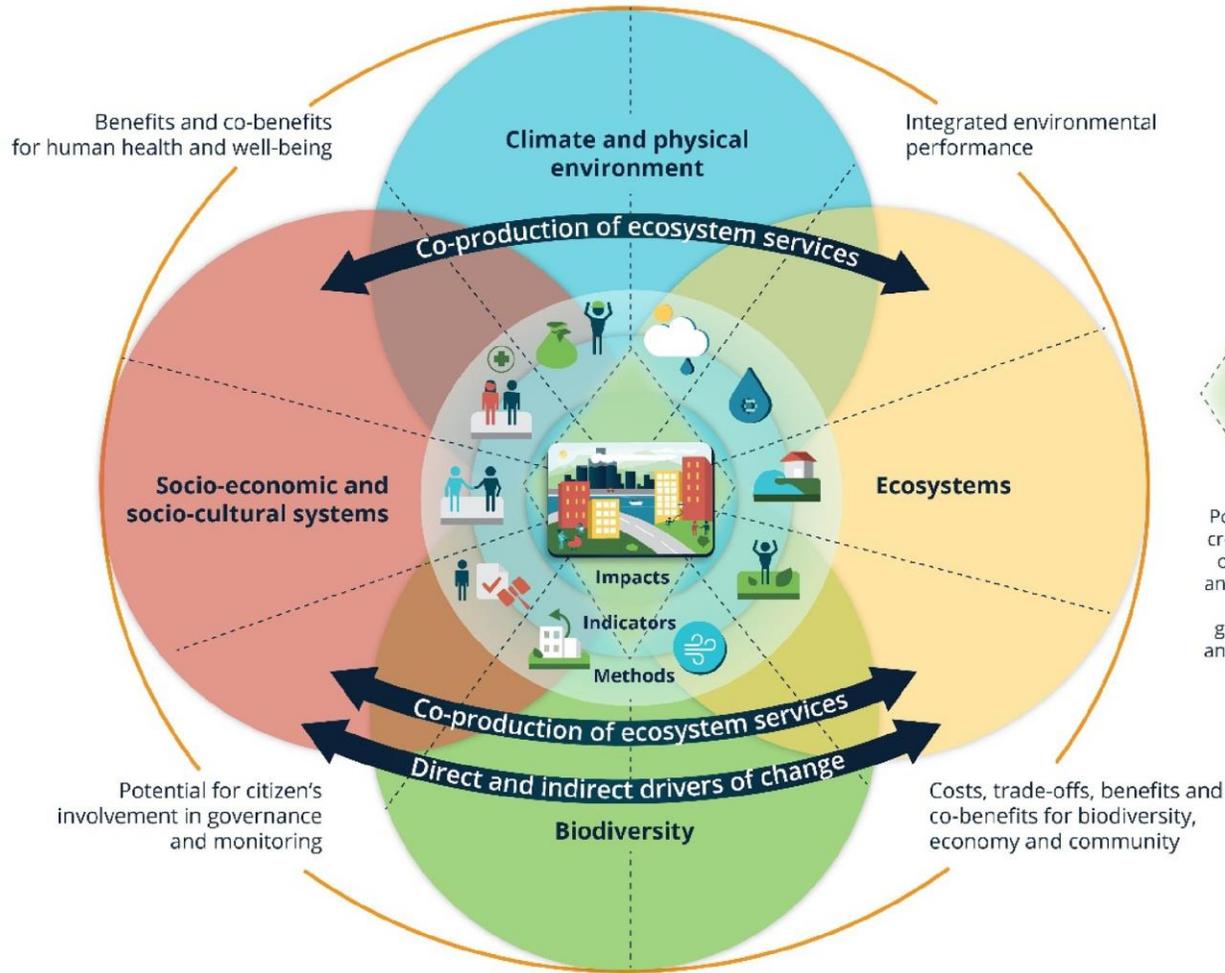


INRAE

Atelier reuse in cities

18/10/2022

# ➤ Transformer la ville



Potential for cross-cutting challenges and solutions across geographic and temporal scales

Climate Mitigation and Adaptation

Water Management

Urban Regeneration

Participatory Planning and Governance

Coastal Resilience

Green Space Management

Social Justice and Social Cohesion

Public Health and Well-being

AirQuality

Economic Opps. and Green Jobs



**INRAE**

Atelier reuse in cities

18/10/2022

## ➤ Transformer la ville



Traitement des eaux grises - Oslo

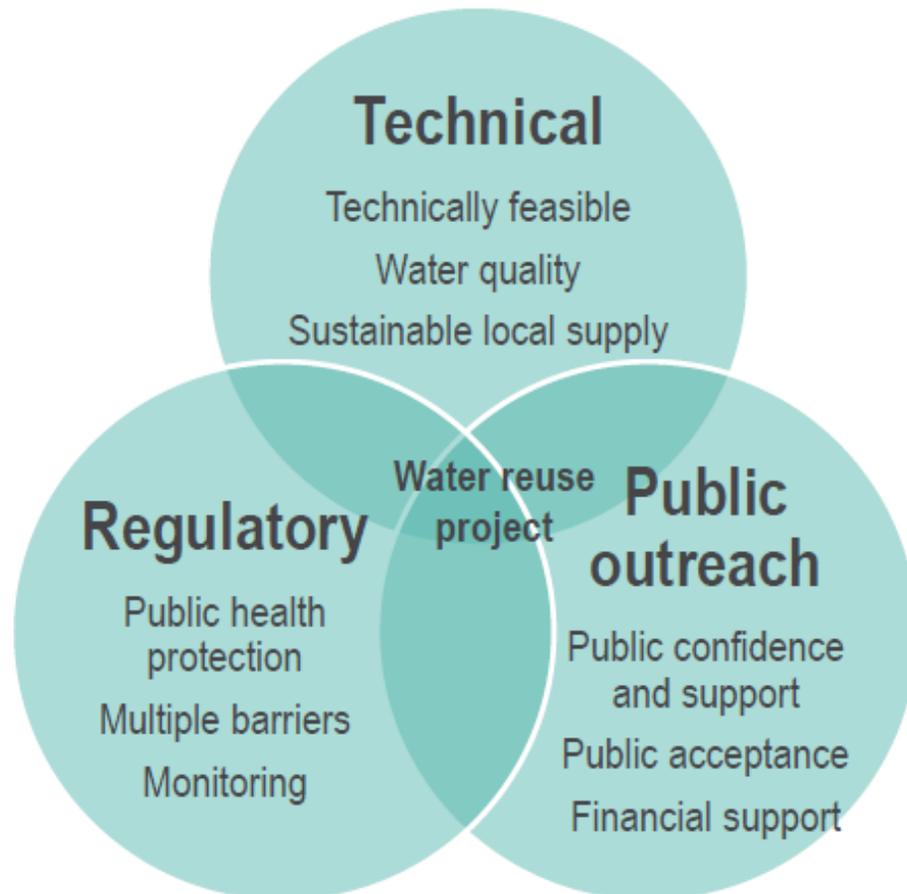


Traitement des eaux usées - USA



Huber, J., 2010. Low Impact Development: a Design Manual for Urban Areas

## ➤ L'approche urbaine – une nécessaire interdisciplinarité



- Technologique
- Economique
- Environnemental
- sanitaire
- Planification
- Gouvernance
- Urbanistique
- Attentes citoyennes
- ...

# L'eau usée ressource, dans une « économie » circulaire?



Ressources	Valeur potentielle (€/PE/an)	CO2 évitable si récupéré (kgCO2/PE/an)	Pression sur ressource
Eau convertie en eau potable	65,4	28,2	++
Récupération Chaleur	6,9	55,2	+
Matière organique convertie en biogaz	2,4	16,2	+
Conversion boues en biochar	0,8		+
Azote total récupéré	2,7	34,5	+
Phosphore total récupéré	1,1	3,2	+++

Verstraete and Vlaeminck, 2011

Besson M., 2021



INRAE

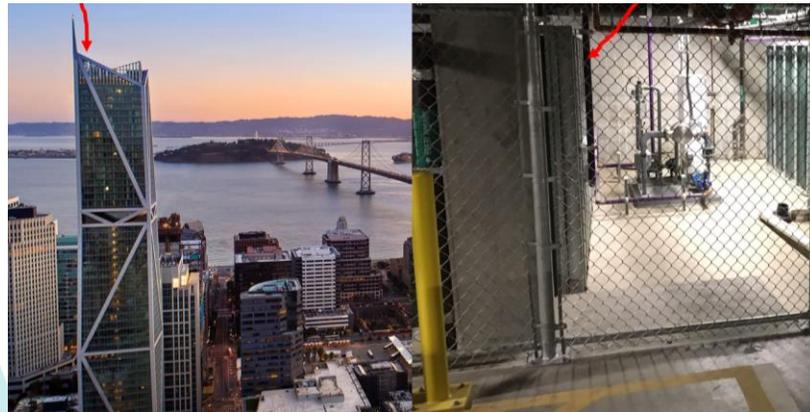
Atelier reuse in cities  
18/10/2022

# La réutilisation urbaine: A quelle échelle ?



# La réutilisation: quelle échelle ? pour qui ? comment?

Aménageurs, métropole – ‘élite’	Eco-quartier	zone urbaine et agricole avec stress hydrique	Ville en forte expansion	Villes de région en développement
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Principe économie circulaire</li> <li>- Labels environnemental des bâtiments</li> <li>- Rareté de l’eau</li> <li>- Sensibilité High tech</li> <li>- Peu d’espace</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Principe économie circulaire</li> <li>- Sensibilité solutions basées sur la nature</li> <li>- Séparation à la source</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réutiliser les eaux pour l’irrigation</li> <li>- Réutiliser l’eau pour le rafraîchissement urbain</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energie et réseaux</li> <li>- Le système centralisé et son infrastructure ne s’adapte pas à l’extension rapide</li> <li>- semi-centralisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponibilité en eau potable</li> <li>- Intermittence de l’énergie</li> <li>- Hygiène publique</li> <li>- Absence de réseaux</li> </ul>



Atelier reuse in cities  
18/10/2022

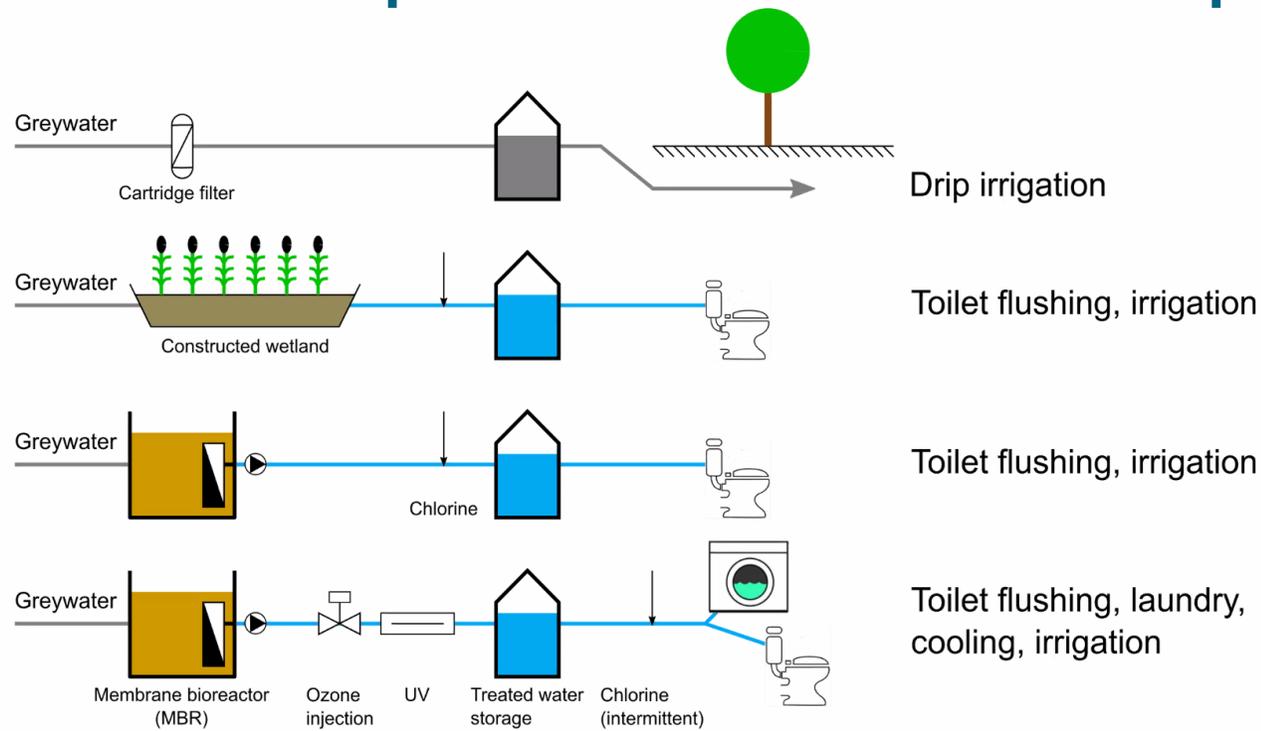
- Des solutions à adapter aux contextes
- Ne pas transposer des solutions standard



Morgenroth E., 2021

# Des solutions combinées ?

- **Combinaison de systèmes basés sur la nature et de technologies plus intensives?**
- **Pour des qualités d'eau variables adaptées à l'usage**



Morgenroth E., 2021

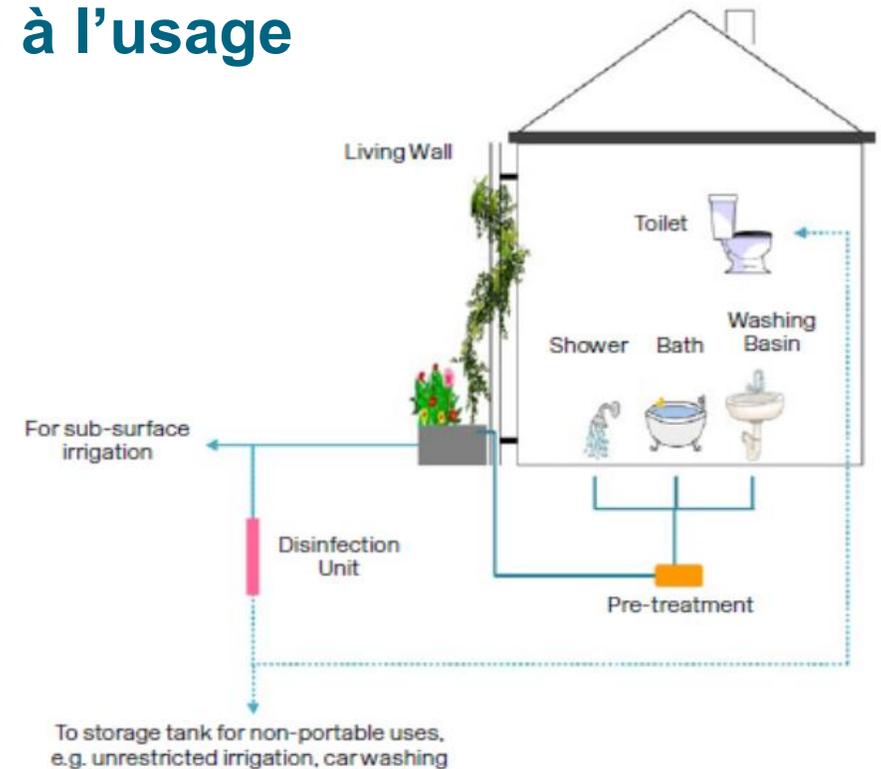


Figure 1.2a Concept of living walls for greywater recycling in domestic premises (adapted from Fowdar et al., 2017)

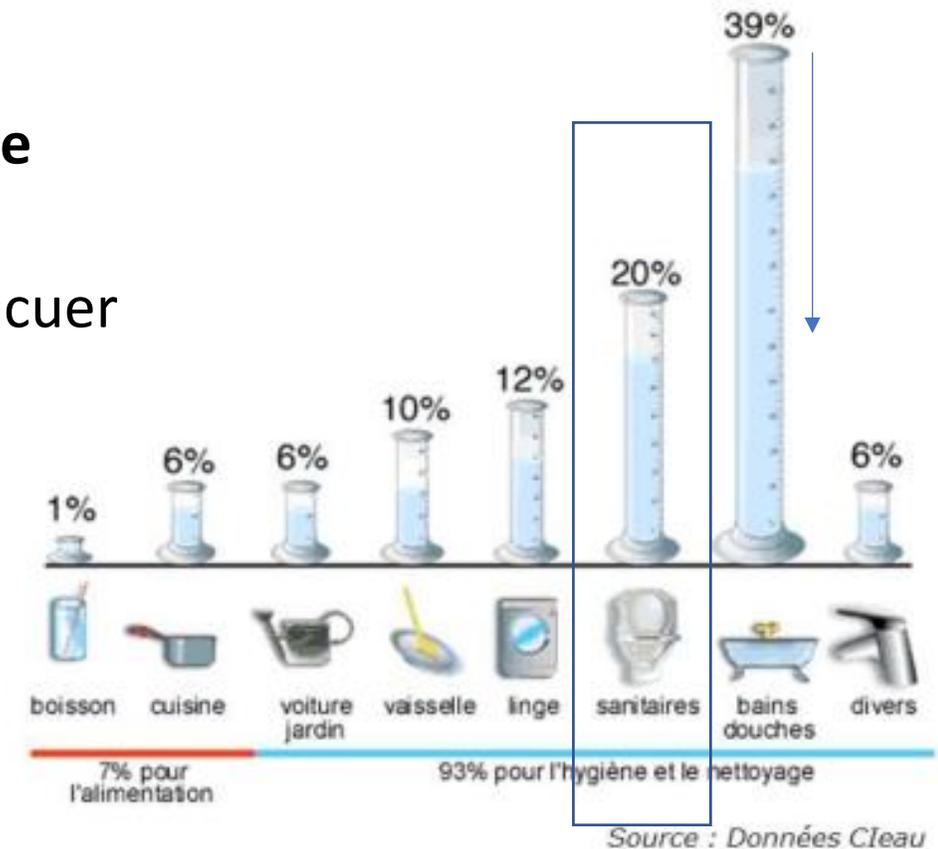
## ➤ Remises en question, alternatives, scénarios

- Comment privilégier la sobriété et surtout éviter les effets rebond en alimentant de nouveaux usages ?
  - Guider les MO dans une multiplicité de scénarios, avec des bénéfices écosystémiques
  - Privilégier la substitution d'usages existants (usage eau potable...)
  - Attention aux nouvelles demandes: végétalisation urbaine, îlots de chaleurs...
  - Séparer à la source, décentraliser?



## ➤ Eau urbaine en France

- 5,3 milliards de m<sup>3</sup> = 1,7 commune + 3,6 domestique
- donc  $0.2 * 3,6 = 0,72$  milliards m<sup>3</sup> dans WC... pour évacuer et transporter nos matières fécales...
- **Recycler ou dévier ?**

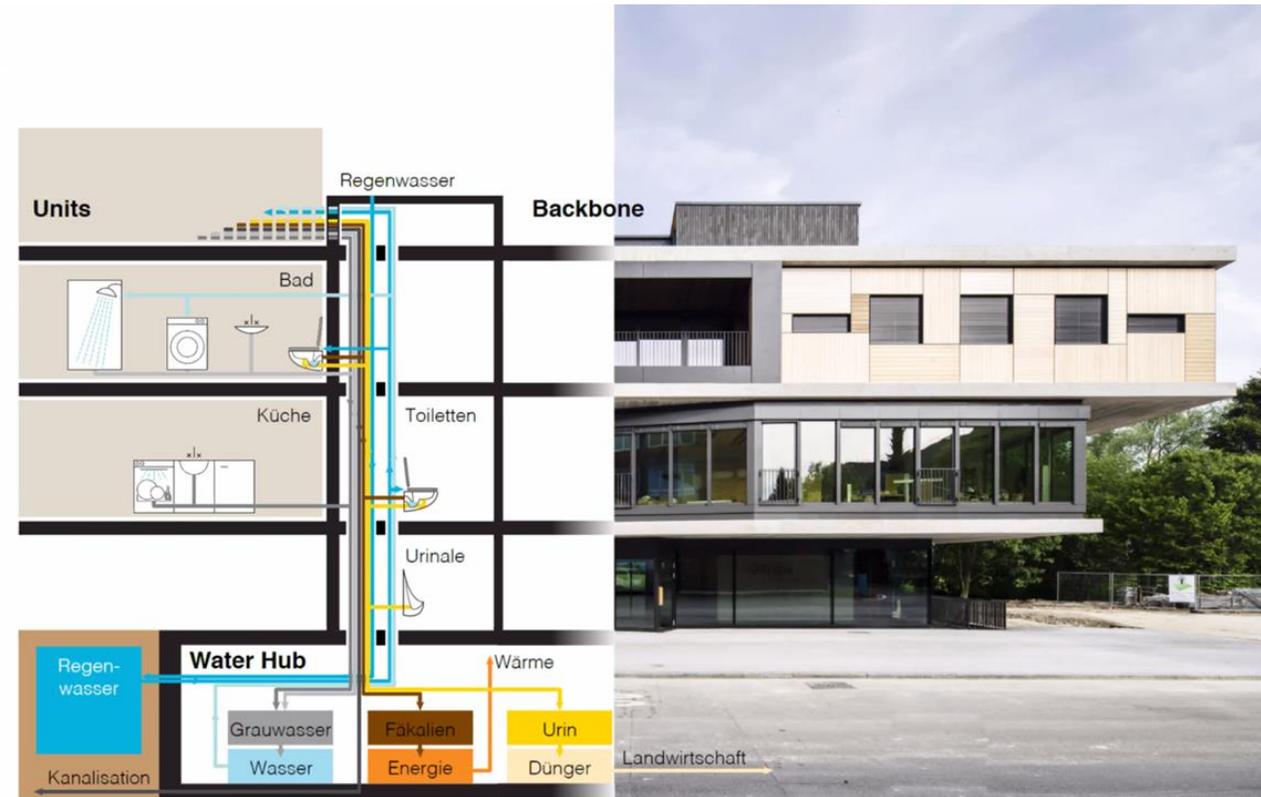


## ➤ La séparation à la source : quelle échelle ? comment?

- La séparation à la source peut faciliter la réutilisation et la valorisation de l'eau et des nutriments

- Eaux grises
- Eaux noires
- Urine

**Urine = 85% de l'azote, 50% du P, et 70% des pharmaceutiques**

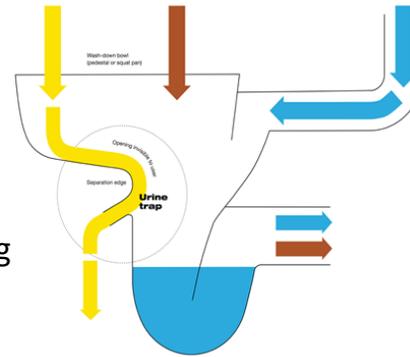


NEST building for building scale research at Eawag  
→ <http://www.eawag.ch/waterhub>

- Gestion décentralisée **ou** centralisé après transport/vidange

# ➤ Réinventer les toilettes ?

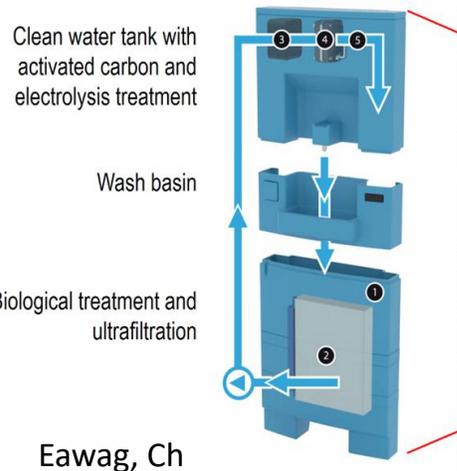
- Recycler ou dévier ?



Urine diverting toilets  
Laufen



Urine diverting dry toilets



Autonom toilets  
Cranfield Univ.



Vaccum toilets  
INSA Toulouse

# Exemple de séparation Urine: Paris: quartier Saint Vincent de Paul



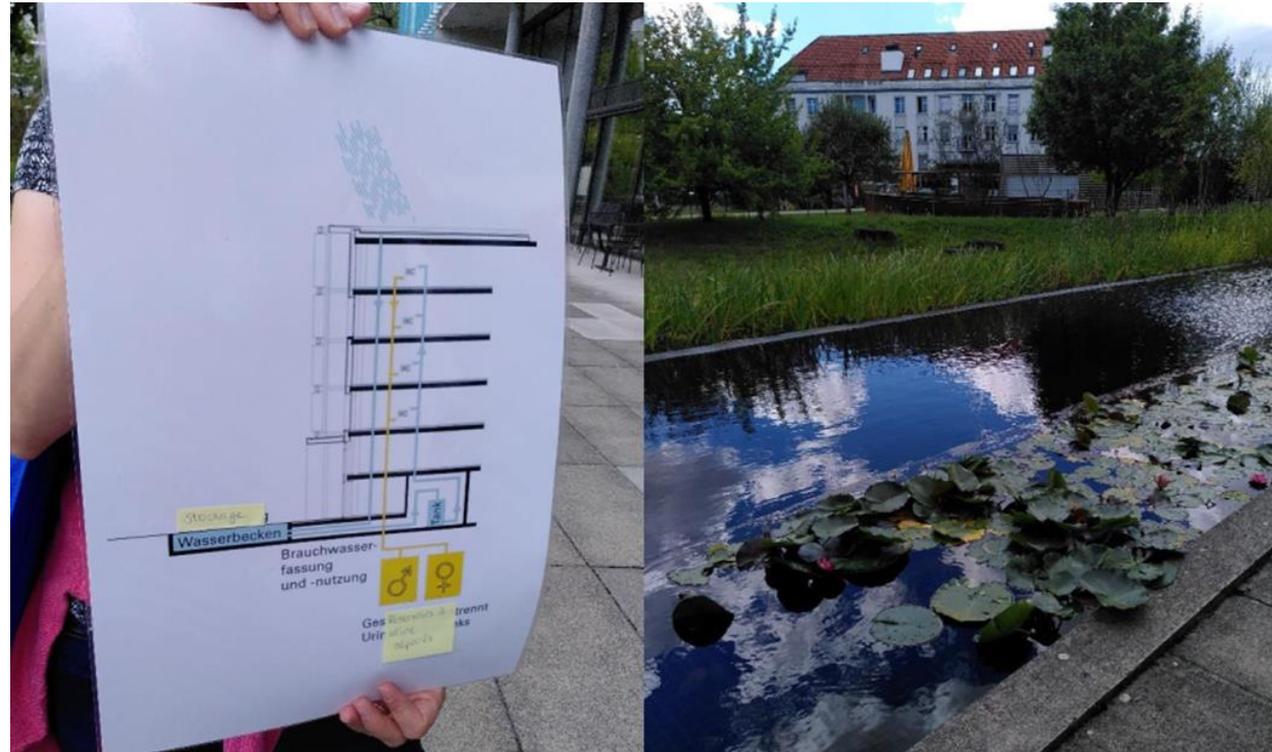
- **1000 logements**
- **Séparation à la source de l'urine**
- **Traitement biologique et concentration pour produire un fertilisant**
- **Grande multiplicité d'acteurs**

Le futur quartier Saint-Vincent de Paul (Paris 14<sup>e</sup>)



<https://www.paris-metropole-amenagement.fr/fr/saint-vincent-de-paul-paris-14e>

# Mélanger eaux grises + eaux pluviales pour la REUT ?



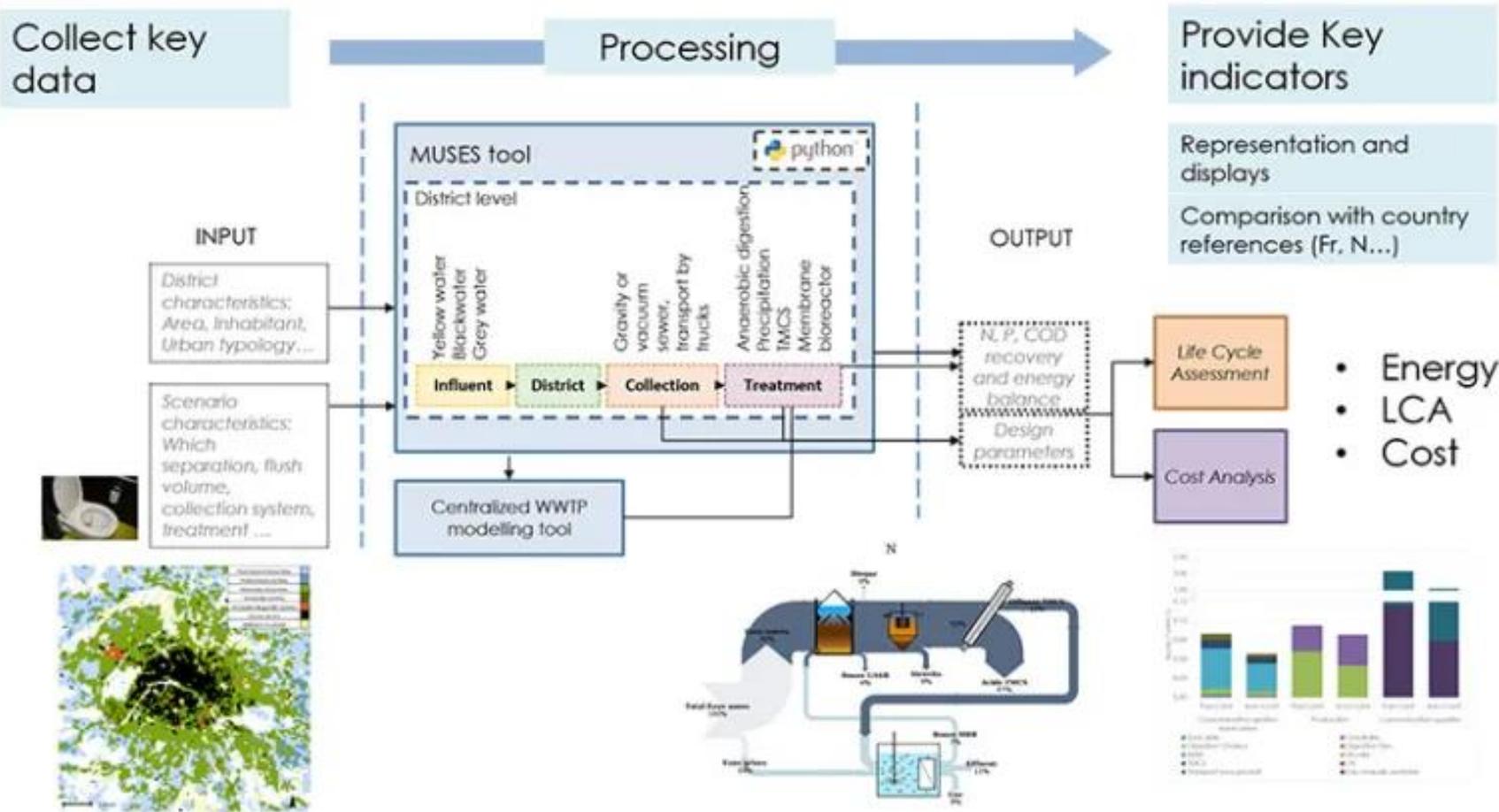
- **La co-valorisation Eau grise + Eau pluviale permet de combler les lacunes d'eau pluviale durant les périodes sèches**
- **La déviation des toilettes réduit les risques sanitaires et facilite cette co-valorisation**

# Une approche intégrée: outils de modélisation urbaine de scénarios (ex: MUSES)



Le développement de l'outil MUSES a été réalisé lors du projet MUSES (Modélisation Urbaine de Séparation des Effluents à la Source, 2016-2018) financé par l'Agence de l'Eau Adour Garonne. Lors du projet DESIGN il sera finalisé et adapté pour être utilisé sur des cas d'étude réels.

<https://design.cnrs.fr/outil-muses/>



INRAE

Atelier reuse in cities

18/10/2022

# Cas d'étude: la cartoucherie (Toulouse)

33 hectares, 3500 logements, 6500 habitants, 1600 employés



200 m<sup>2</sup>



2500 m<sup>2</sup>

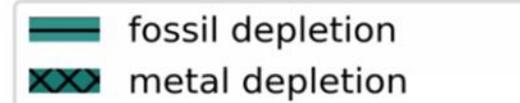


- Des surfaces nécessaires acceptables pour les SFNs (lits plantés) dès lors que l'on sépare...
- Une valorisation possible des matières

# ACV de scénarios avec valorisation décentralisée de l'eau

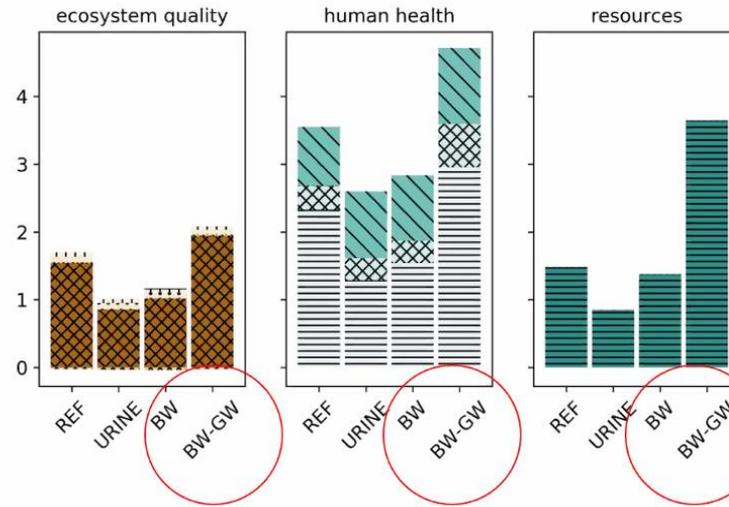


Enregistrement...



La production d'eau réutilisable à partir de technologies décentralisées high-tech peut conduire à des émissions plus élevées de CO<sub>2</sub>...

=> Besoin de recherche



iard.morgenroth@ifu.baug.ethz.ch

Besson, M. (2020) Modelling and environmental assessment of source separation scenarios for wastewater at district scale, Université de Toulouse.

3 scénarios: URINE: valo urine, BW: valo eaux noires, BW+GW: valo eaux noires et grises

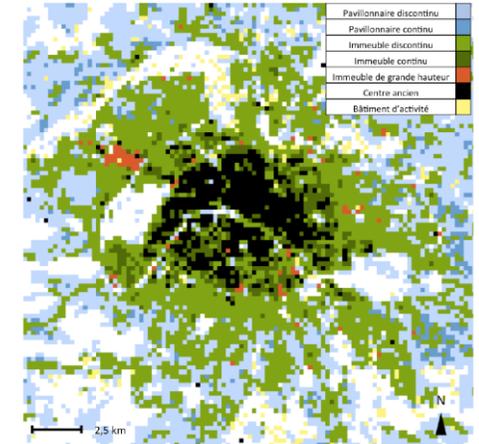
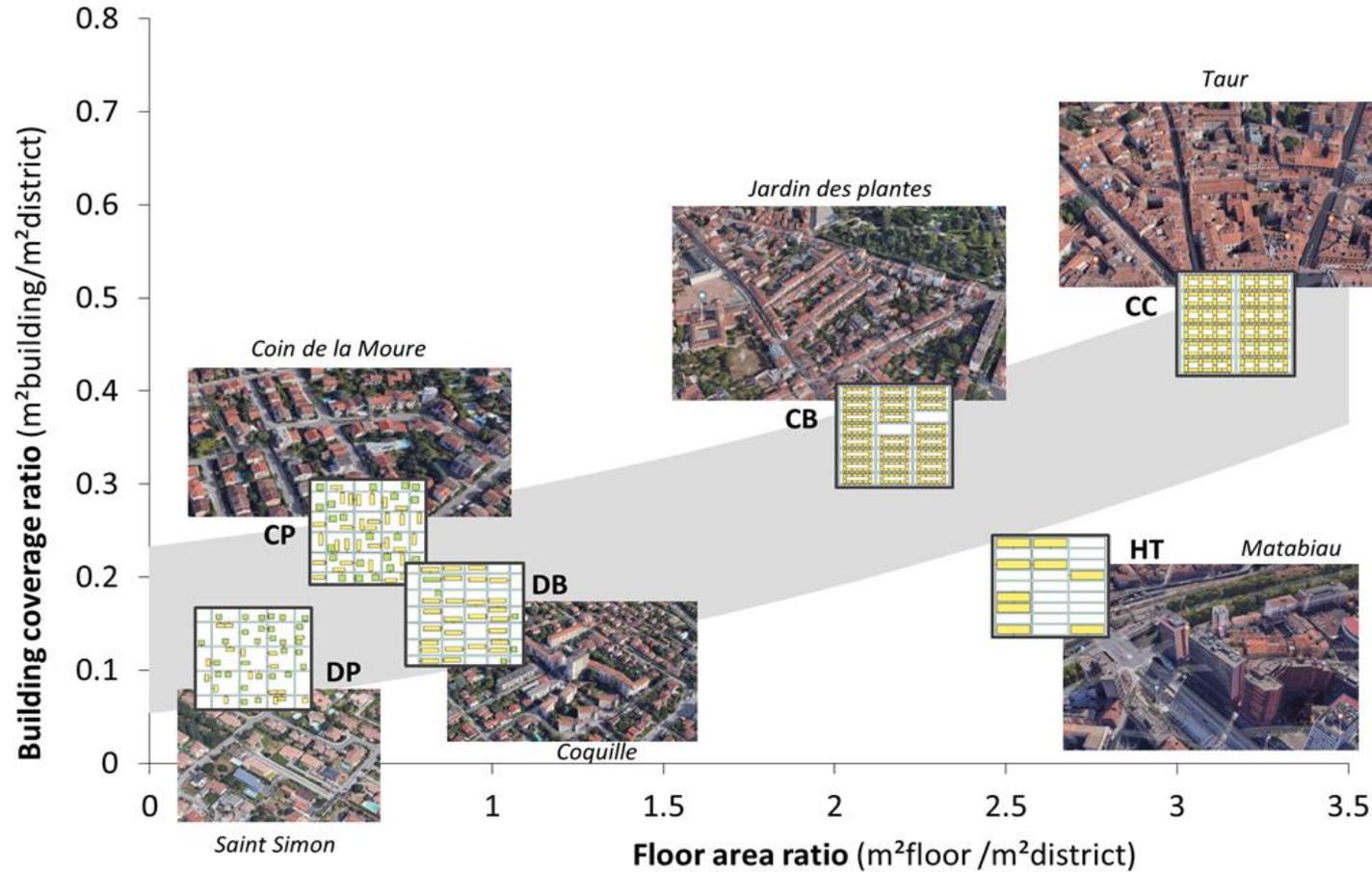


INRAE

Atelier reuse in cities

18/10/2022

# Des scénarios techniques adaptés à l'urbanisme?



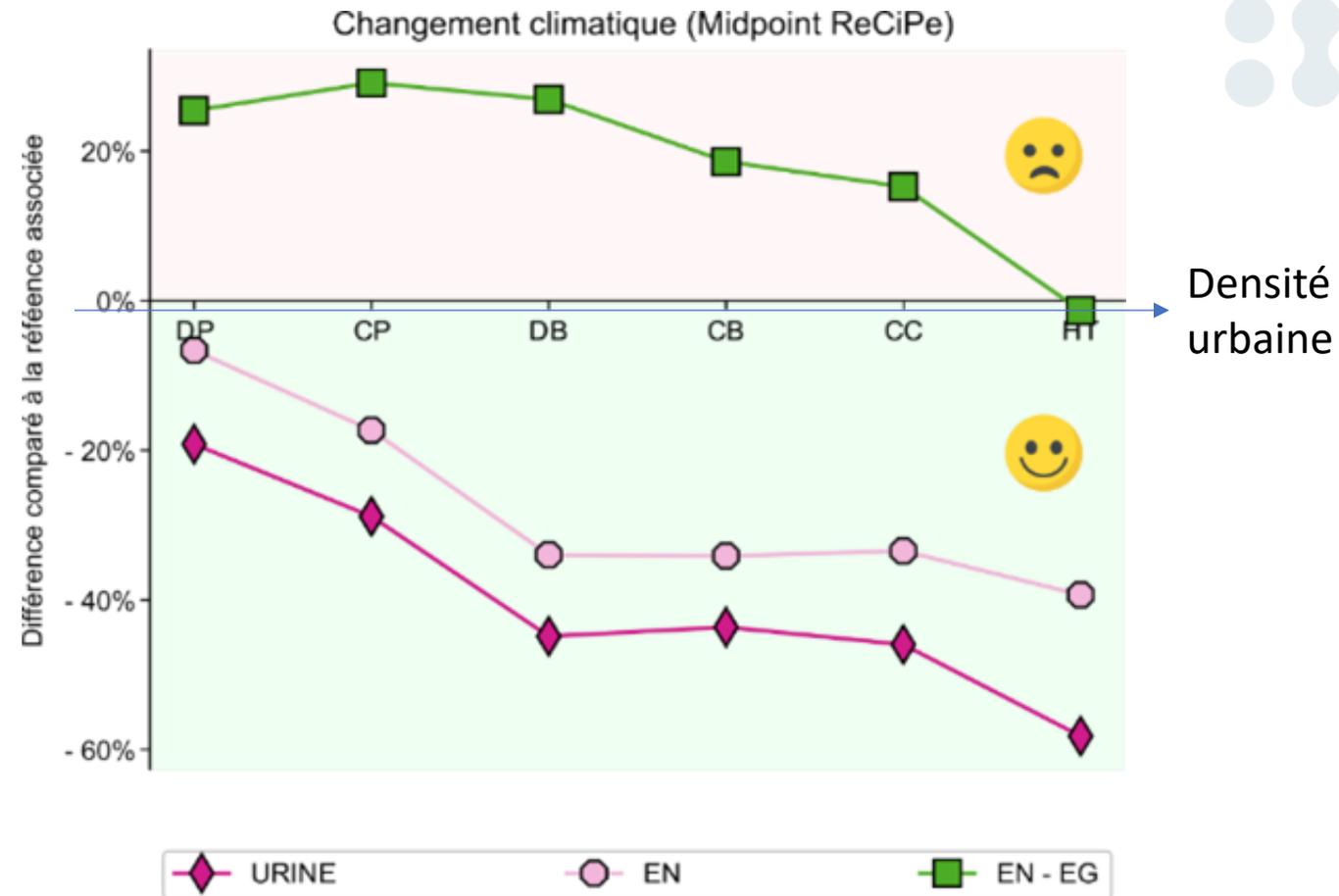
INRAE

Atelier reuse in cities  
18/10/2022

Environmental assessment of urine, black and grey water separation for resource recovery in a new district compared to centralized wastewater resources recovery plant  
M Besson, S Berger, L Tiruta-Barna, E Paul, M Sperandio, - Journal of Cleaner Production, 2021

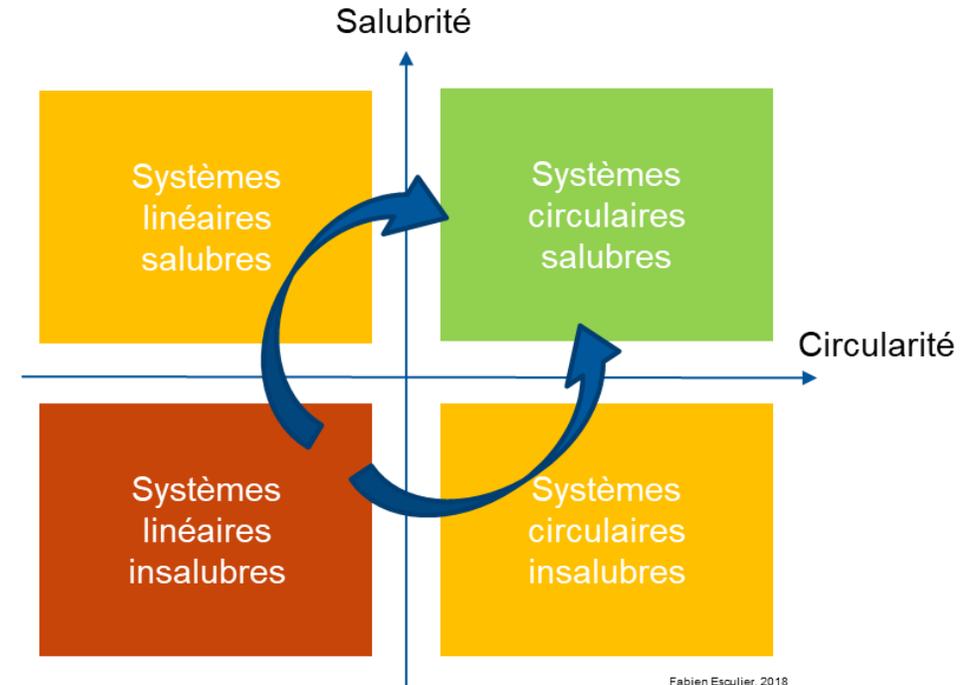
# Modéliser et éco-concevoir les systèmes

- Les bénéfices des scénarios dépendent de la densité urbaine
- Les procédés et filières doivent être développés pour s'adapter à la typologie de l'urbanisme

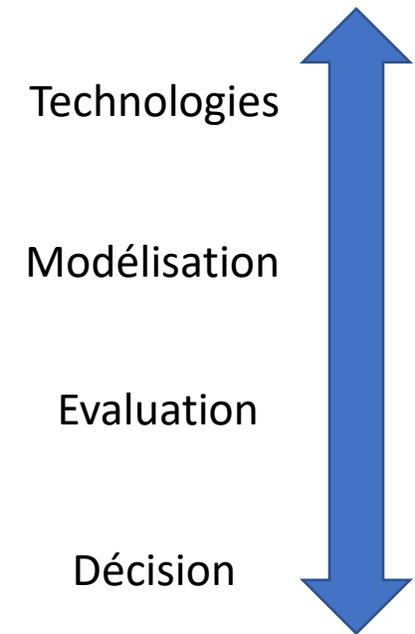


## ➤ Messages

- **La recherche doit explorer une multiplicité d'alternatives et de scénarios**
- **Proposer des changements durables avec une vision intégrée**
- **Pour des systèmes salubres et circulaires, sobres et résilients**
- **Faire émerger de nouveaux paradigmes**



## ➤ Reuse in Cities : Panorama de projets de recherche et innovation pour la réutilisation des eaux usées en milieu urbain



- Concepts et technologies de traitement innovants et propices au déploiement en zone urbaine
- Scénariser et prédire les schémas de traitement et d'usages optimaux à l'échelle de la ville (C. vs D.)
- Gestion des risques et analyse des jeux d'acteurs
- Démonstration de la faisabilité technique d'un usage nouveau avec une eau recyclée



## ➤ Preuve de concept de nouvelles filières intensives

### • SAVE

Station Avancée pour la Valorisation des Effluents

Développement d'une nouvelle filière couplant membranes NF et bioréacteurs.

- Parti/hypothèse: Une revisite globale de la filière pour considérer simultanément les micropolluants, l'antibiorésistance, les boues et l'énergie, la réutilisation
- Responsable/Partenaires: NEREUS / LGC, TBI, LEFE, IEM, SAPOVAL



## ➤ Preuve de concept de nouvelles filières intensives

- **WOD** (Water On Demand) - WOC
- Filtration membranaire directe par NF dynamique, adaptée et au plus prêt des usages
  - Qualification expérimentale
  - Couplage avec SFN
  - Modélisation pour des scénarios en zone urbaine (EU, Eaux grises)
  - Parti/hypothèse: Une technologie permettant de simplifier le traitement, garanti par des seuils de coupure bas et un colmatage maîtrisé, applicable sur eau brute, eau traitée, eau grise
  - Responsable/Partenaires: J. Harmand - LBE, IEM, TBI, MISTEA, CDED



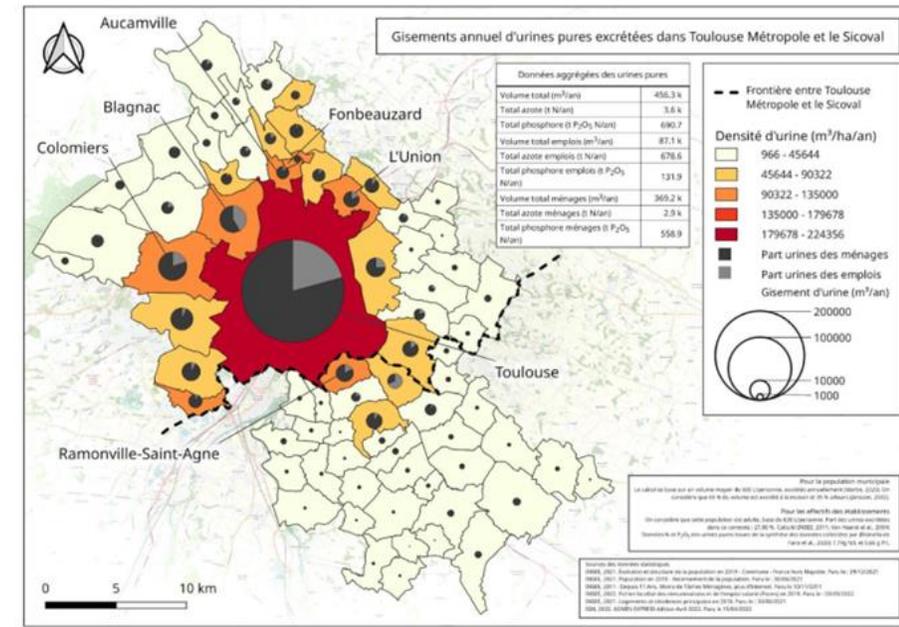
## ➤ Les solutions fondées sur la Nature (SFN)

- **MULTISOURCE** - Programme EU H2020 / **TONIC** – Agences AG, RMC, OFB
- Intensification de procédés ‘basés sur la nature’ pour une application en zone urbaine, pour le stockage et la reut (eaux usées, eaux pluviales, eaux de pluie, surverses de DO) et développement d’outils décisionnels à l’échelle d’un territoire.
  - Parti/hypothèse: les SFN en ville pour une meilleure intégration / maîtrise des couts
  - Responsable/Partenaires:
    - Multisource: J. Nivala / REVERSAL, et partenaires EU.
    - TONIC: P. Molle / REVERSAL, et INSA Lyon.
- **BIOROC** – Défi Clé WOC
- Développement de lits plantés intensifiés ou bio-augmentés par macro-organismes. Démonstration à l’échelle d’un bâtiment.
  - Responsable/Partenaires: M. Gérino, LEFE, UPS



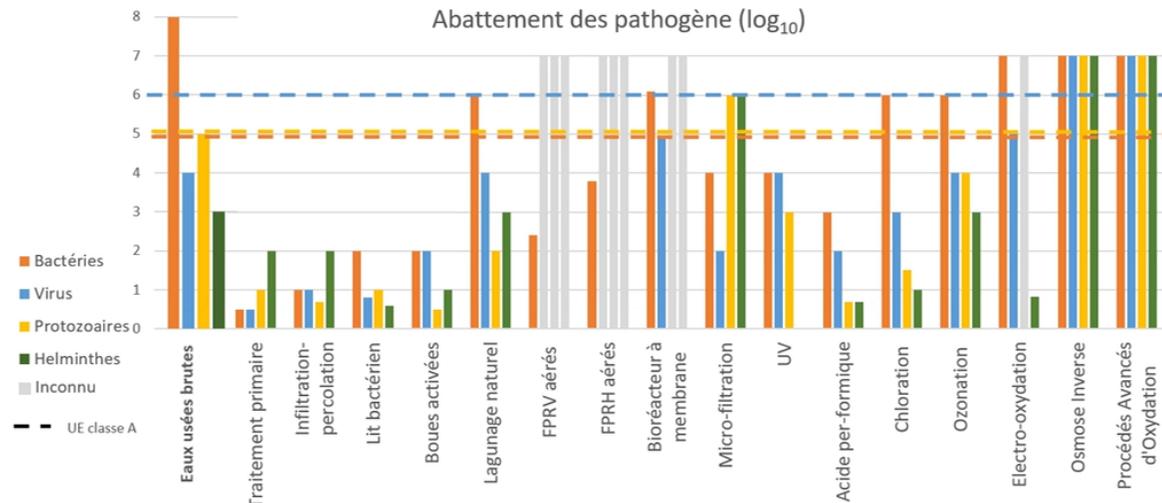
# ➤ Scénariser et prédire les schémas d'usage optimaux à l'échelle d'une métropole

- **TEVALU** – Toulouse. Métaprog. Better INRAE.
- Développement d'une approche d'analyse territoriale pour la valorisation de l'urine
  - Parti/hypothèse: les systèmes de séparation de l'urine et de séparation à la source (et en général des excréta humains) doivent accompagner et faciliter la réutilisation de l'eau
  - Partenaires: TBI / SOLAGRO, TSE-R, Ecosys



## ➤ Gestion des risques et jeux d'acteurs

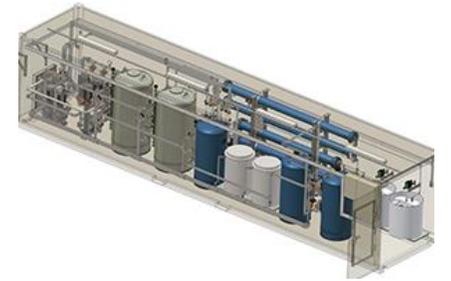
- **L'approche Multi-barrière.** Thèse Alice Rose.
- Gestion du risque par l'approche multi-barrière en réutilisation, identification de la qualité associée à l'usage, pratiques de co-construction des filières par les acteurs
  - Partenaires: R. Lombard Latune. REVERSAL, G-EAU, AERMC



R. Lombard Latune, 17/10/2022

➤ Démontrer la faisabilité technique et les bénéfices d'un usage nouveau avec une eau recyclée

- **Projet LIFE ReWa, RecycledWater, Montpellier**
- Créer et mettre à disposition une nouvelle ressource à partir d'eaux usées traitées de qualités adaptées pour répondre à différents usages (agricoles, industriels et urbains)
- démontrer la faisabilité technique, l'acceptabilité sociale, la disponibilité des usages et la soutenabilité économique de la réutilisation des eaux usées du territoire.
  - Partenaires: Montpellier Méditerranée Métropole / Institut Européen des Membranes, DV2E



## ➤ Démontrer la faisabilité technique et les bénéfices d'un usage nouveau avec une eau recyclée

- **Val'Réu - EC'EAU – Toulouse.**
- Valorisation de l'eau produite par traitement tertiaire (Membrane) à la STEU de Toulouse Ginestous Garonne.
  - Usages envisagés: Hydrocurage, espaces verts, arrosage terrains de sport, expérimentation de l'usage sanitaires (WC), maintenance métro.
  - Substitution d'eau potable
  - Volets: analyses, mobilisation et acceptabilité, étude risque pour accompagnement réglementation
  - Partenaires: Toulouse Métropole / ASTEO, Tisseo, Polymem, Stade Toulousain, LDE, ENSAT, INSA-TBI, LGC



Crédit photo : Julie Ducrot



Crédit photo : OTV



➤ REUSE Urbaine et résilience des villes

**Pascal Molle – Jaime Nivala** UR REVERSAAL – Lyon France

**Mathieu Sperandio** – TBI – INSA de Toulouse



**INRAE**

Atelier reuse in cities

18/10/2022

## ➤ Discussions re-use urbaine – retour des collectivités

**Ou en êtes vous sur vos approches de gestions des eaux urbaines (eaux usées, pluviales ...)?**

- Gestion à la source des eaux pluviale?
- Alternatives à l'approche centralisée linéaire (collecte – traitement – rejet) ?
- ...

## ➤ Discussions re-use urbaine – retour des collectivités

### Quels sont les moteurs qui vous poussent à envisager la REUSE ?

- Gestion de la ressource en eau
- Verdissement des villes (refroidissement, biodiversité, paysagé ...)
- Autonomie alimentaire (ferme urbaines, irrigation agricole ...)
- ...

## ➤ Discussions reuse urbaine – retour des collectivités

### Quels sont les approches développées pour la REUSE urbaines ?

- Planification ou opportunisme ?
- Réflexion sur la gestion décentralisée pour usage proche ?
- Séparation à la source ?
- Usage de SfN pour ajouter des services écosystémiques ?
- La reuse des eaux pluvial est elle envisagée (stockage) ?

## ➤ Discussions reuse urbaine – retour des collectivités

### Quels sont les freins que vous rencontrez à la REUSE Urbaine ?

- Règlementaires
- Communication entre les services pour une planification en amont des projets
- ...

### Quels sont les besoins en terme d'accompagnement ?



**INRAE**

Atelier reuse in cities  
18/10/2022

## ➤ Un règlementation qui évolue ... et élargie les usages possibles

### **11 mars 2022, décret relatif aux usages et aux conditions de réutilisation des eaux usées traitées (REUT)**

Permet le développement de nouveaux usages, autres que l'irrigation agricole et l'arrosage des espaces verts déjà pris en compte.

- **Lavage des voiries, nettoyage des véhicules, curage des réseaux d'assainissement...**
- Des usages potentiellement importants restent pourtant non considérés (ex: WC), et la séparation encore insuffisamment considérée (eaux grises, ...)

# Bordeaux: exemple de la fumainerie

- **Tout semble possible...**

... quand les citoyens s'emparent de la question de l'assainissement.



Collecte d'excrétas humains à Bordeaux (La Fumainerie)