

# LA VILLE ET SES EAUX

## Vers une gestion « durable » des eaux urbaines

Martin SEIDL

Garant Bruno Tassin  
Champs-sur-Marne,  
13 juin 2022

Soutenance en vue d'obtention de l'habilitation  
à diriger les recherches à l'Université Paris-Est



JURY :

- Mme. Béatrice Bechet  
UGE Nantes (*rapporteuse*)
- Mme Sarah Dörner  
Polytechnique de Montréal, Canada (*rapporteuse*)
- M. Jean-Luc Bertrand Krajewski  
INSA Lyon (*rapporteur*)
- Mme Danielle Dagenais  
Université de Montréal, Canada
- M. Jean-Marie Mouchel  
Sorbonne Université
- M. Nilo Nascimento  
Université Fédérale de Minas Gerais, Brésil
- M. Bruno Tassin  
Ecole des Ponts ParisTech

## Le contenu de la présentation

-  ▶ 1 mes objets de l'hydrologie urbaine
-  ▶ 2 la ville et son bassin
-  ▶ 3 épurer à l'aide du végétal
-  ▶ 4 *eaux de ville*
-  ▶ 5 les perspectives



## Mes projets

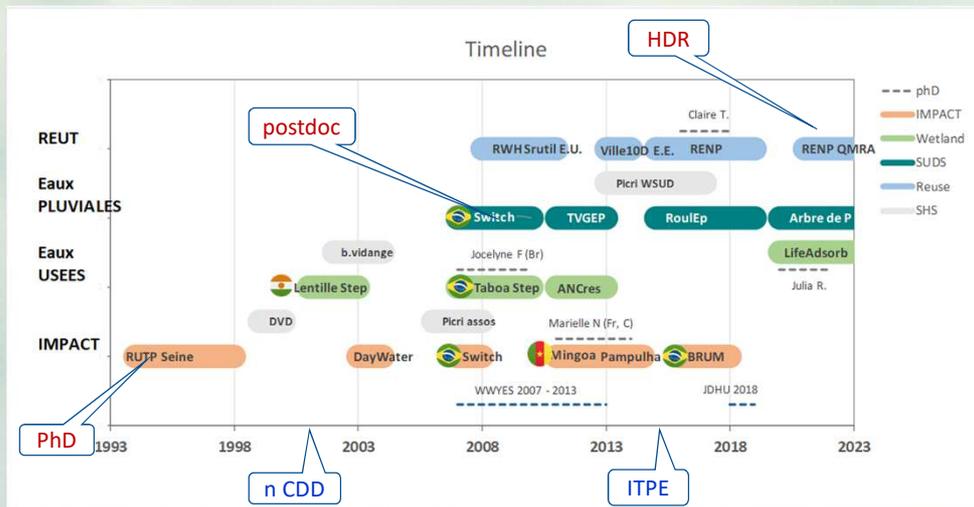


Figure 2 : Évolution thématique par objet avec les principaux projets.



5/36

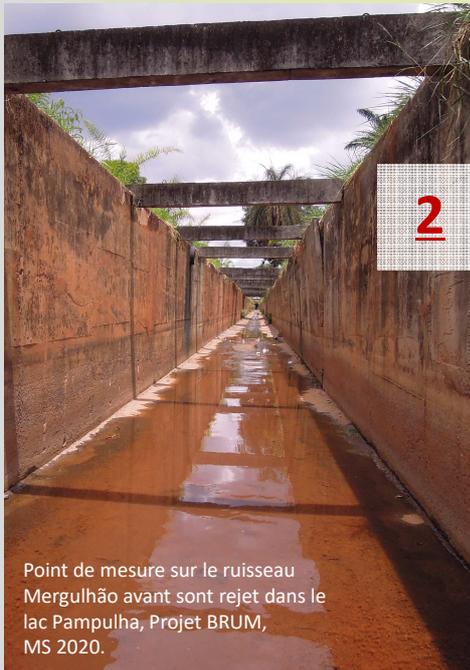
## Les projets



Figure 2bis: Collaborations internationales (gris : échanges vert : échange avec mission terrain)

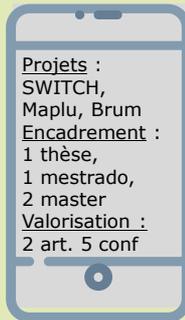


6/36



Point de mesure sur le ruisseau Mergulhão avant sont rejet dans le lac Pampulhã, Projet BRUM, MS 2020.

## 2 La VILLE et SON BASSIN



Projets :  
SWITCH,  
Maplu, Brum  
Encadrement :  
1 thèse,  
1 mestrado,  
2 master  
Valorisation :  
2 art. 5 conf



## ▶ Les effets de l'urbanisation

### Hypothèse: Imperméabilisation emmène :

- ▶ Augmentation de ruissellement, impact -> modélisation pluie débit **projet Brum à Belo Horizonte**
- ▶ Augmentation de pollution, impact -> écotoxicologie, projet Piren Seine (PhD), Daywater, impact -> suivi qualité RUTP (PhD), **projet Switch**, impact -> archives sédimentaires **thèse en co-tutelle Cameroun**

### Objectifs:

- ? Quantifier et qualifier l'effet de l'urbanisation sur le bassin versant,
- ? Etablir un lien historique entre occupation et impact



BH

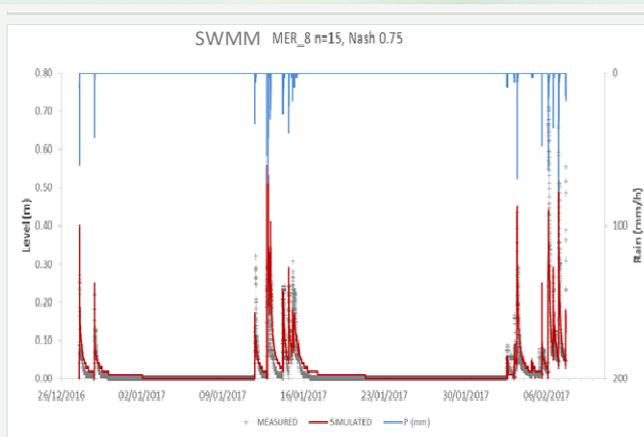
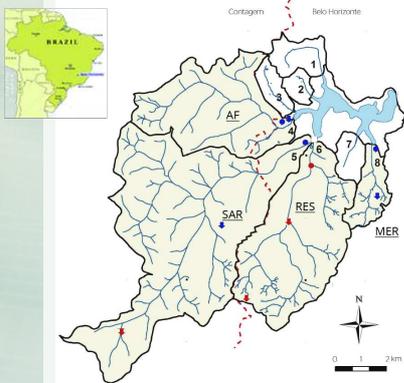


Impact imperméabilisation, pluie-débit, qualité par temps de pluie...

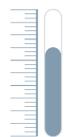
9/36

## ▶ Les bassins versants du lac Pampulha (Brésil)

Les effets de l'urbanisation



(Seidl, et al 2019 - ESPR)



10 /36

## ► Coefficient de ruissellement

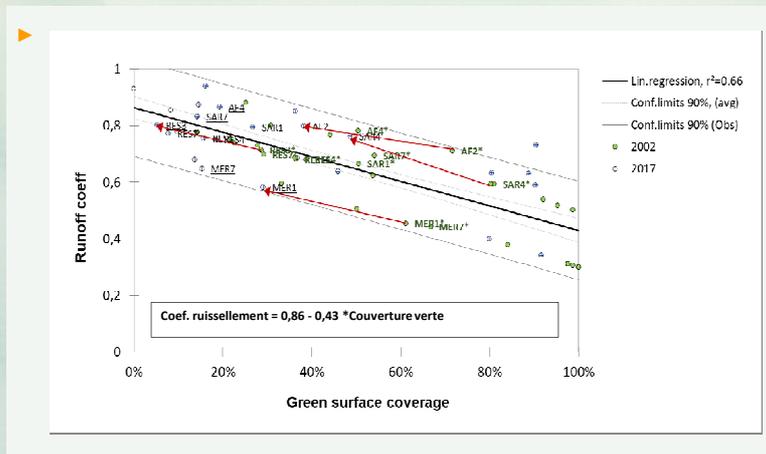


Figure 5 : Relation entre la couverture des surfaces végétalisées et le coefficient de ruissellement pour tout les sous-bassins étudiés. Pour chaque bassin versant, le changement le plus important est marqué par une flèche rouge. (Seidl, et al 2019 - ESPR)

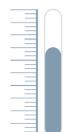


11/36

## ► Exemple urbanisation Agua Funda



Figure 4 : Évolution historique de l'urbanisation du bassin versant Agua Funda, (A) 28/11/2002- (B) 29/7/2018.   
 ● : constructions informelles.   
 ☆ : lotissement planifié.



12/36

## ▶ Temps sec : pollution domestique

▶ Niveau et cycle -> 55 à 70 % eau usée

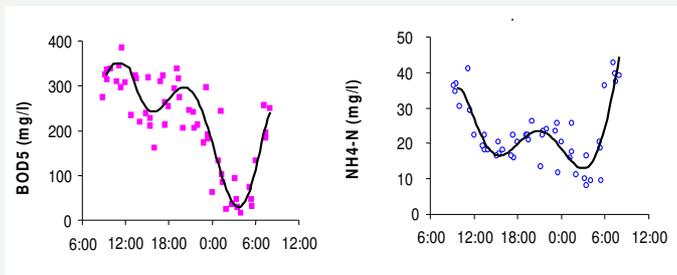


Figure 7 : Qualité de l'eau du ruisseau Quaresma pendant le temps sec (5 campagnes de temps sec de 24 heures). La ligne continue représente un cycle jour / nuit

Temps	EC μS/cm	TSS mg.L <sup>-1</sup>	COD mg.L <sup>-1</sup>	BOD mg.L <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> -N mg.L <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg.L <sup>-1</sup>	P-total mg.L <sup>-2</sup>	E. coli/MPN 100 ml <sup>-1</sup>
SEC	566	235	394	186	20	1.03	2.7	1.78E+09
PLUIE	326	582	148	70	3.6	1.9	1	2.14E+08



13/36

## ▶ Temps de pluie : ruissellement

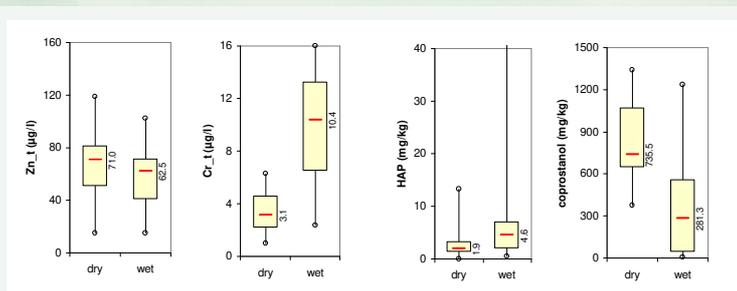
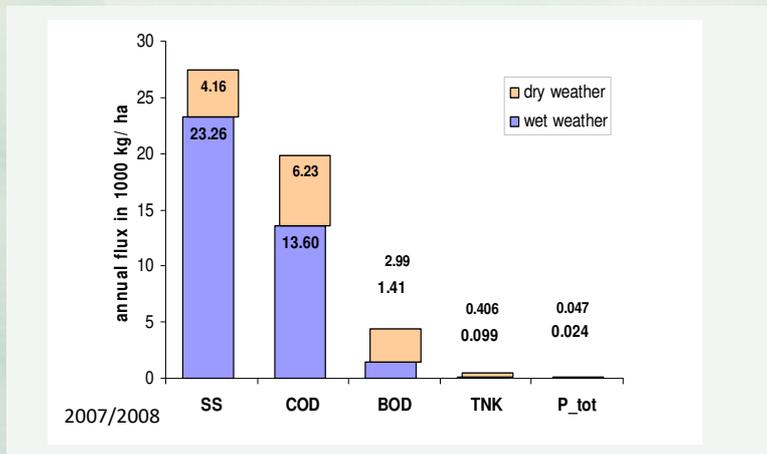


Figure 8 : Niveaux des micropolluants du bassin versant du ruisseau Quaresma, concentrations moyennes et distributions statistiques (n=12). (Seidl, et al 2014 - )



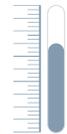
14/50

## Les flux



À BH les événements pluvieux représente quelques % de la durée du cycle hydrologique mais leur contribution au flux total des solides est 6 fois celle des jours secs.

Le flux des HAP était de 25 kg/ha/an dont 80 % en période de pluie tandis que le zinc était de 1,2 kg/ha/an dont 40% pendant les pluies. (<< Paris)



15/36

## Lac de Yaoundé (Cameroun)

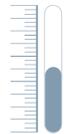
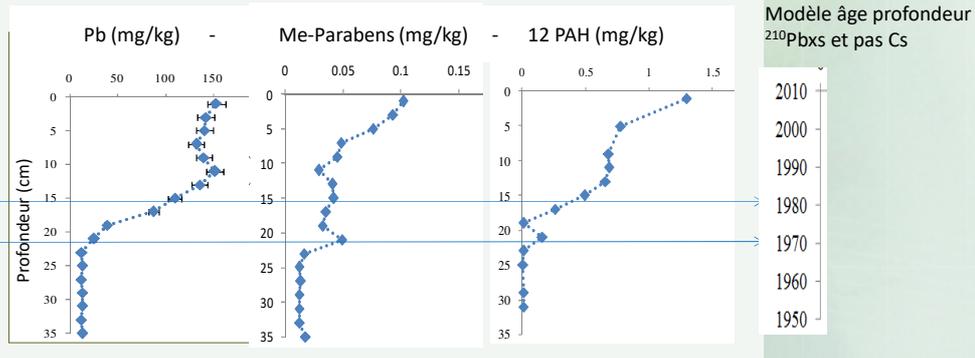


Reconstruire l'occupation du bassin versant à partir de ses sédiments ...

16/36

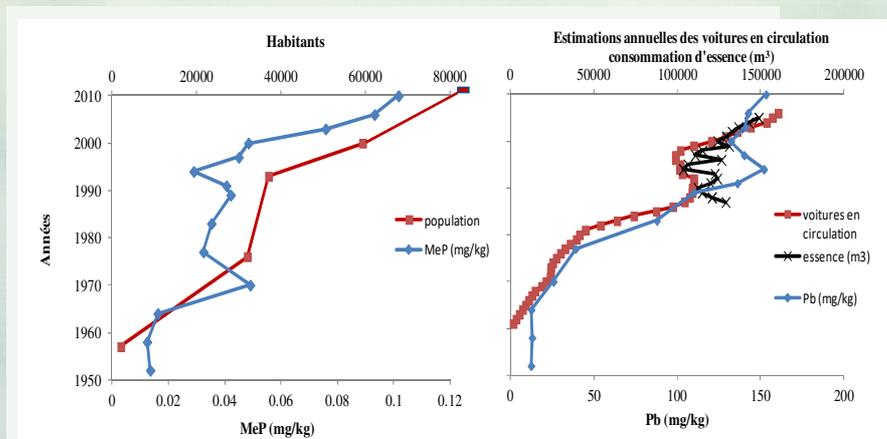
## ▶ La contamination historique

### ▶ Profil, analyse, datation ...

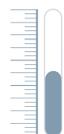


17/36

## ▶ Evolution des habitudes



(Naah, 2013)



18/36

## ▶ Conclusions « 2 »

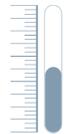
- ▶ L'urbanisation se traduit par une réponse plus rapide à la pluie des zones urbanisées (CR), comparée avec des zones naturelles, accompagnée d'une dégradation du milieu récepteur (N, P, Mx ....)
- ▶ L'empreinte sur le milieu récepteur peut être durable et peut être retracée rétrospectivement à partir des archives sédimentaires. L'analyse des sédiments peut nous renseigner sur l'évolution de l'urbanisation du bassin versant et sur les périodes d'utilisation des produits spécifiques (Pb, MeP etc.).

### Vrai ou faux:

? La teneur en micro-plastiques dans les sédiments à Yaoundé montre l'évolution de la consommation des yoghourts par les camerounais

### Questions:

- Quantifier et qualifier l'effet de l'urbanisation sur le bassin versant,
- Etablir un lien historique entre occupation et impact

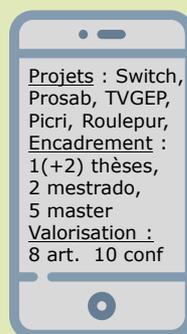


19/36



Toitures végétalisées expérimentales de Céréma à Trappes (78). A gauche toiture avec des graminées et à droite toiture avec des sedums – Projet TVGEP MS 2011.

## 3 TRAITER avec du VEGETAL



20

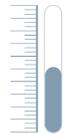
## ▶ Traiter avec, par, au travers de ... EU //EP

**Hypothèse** : L'ajout du végétal dans un système de traitement peut améliorer :

- ▶ La récupération des nutriments, projet **Lemna**,
- ▶ L'élimination des polluants Switch, thèses filtre horizontal, TVGEP et life Adsorb
- ▶ L'évapotranspiration, TVGEP, thèses filtre horizontal UFMG, arbre de pluie SenseCity
- ▶ La biodiversité
- ▶ Le fonctionnement hydraulique

**Objectifs**:

- ? Quantifier et qualifier l'efficacité
- ? Etablir la contribution du végétal



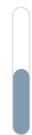
21 /36

## Gestion du ruissellement

Switch BH vs Roulépure Rosny



Efficacité de traitement, abattement ...



22/36

## ▶ Les flux liés au contexte

Tableau 9 : Estimation des flux annuels générés par l'avenue Carlos Luz à **Belo Horizonte** basée sur une dizaine d'évènements suivis entre 2008 et 2009, un coefficient de ruissellement de 0.9 et une pluviométrie annuelle de 1 200 mm

paramètre	MES	DCO	DBO5	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
kg/ha/an	11992	4685	529	0.54	1.12	5.17	0.23	0.50	4.88

Tableau 10 : Flux des principaux polluants à **Rosny sous Bois** entre 2016 et 2018 basés sur les concentrations totales mesurées au point d'entrée et une pluviométrie de 630 mm

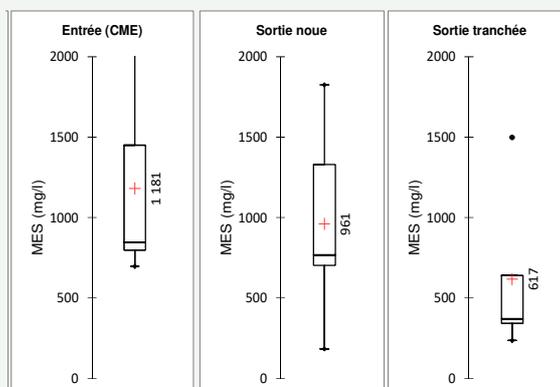
Flux (kg/ha/an)	MES	Plomb	Zinc	Fer	Σ 16 HAP	BPA	NP
Médiane	651	0,043	0,41	6,36	11,6*10 <sup>-3</sup>	2,90*10 <sup>-3</sup>	3,30*10 <sup>-3</sup>



23/36

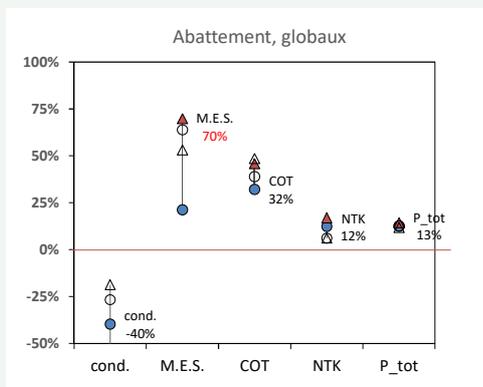
## ▶ Les « efficacités »

### ▶ Switch BH



(Silva et al, 2010)

### Roulepur Rosny



(Seidl et al, 2022?)



24/36

## Récupération des nutriments

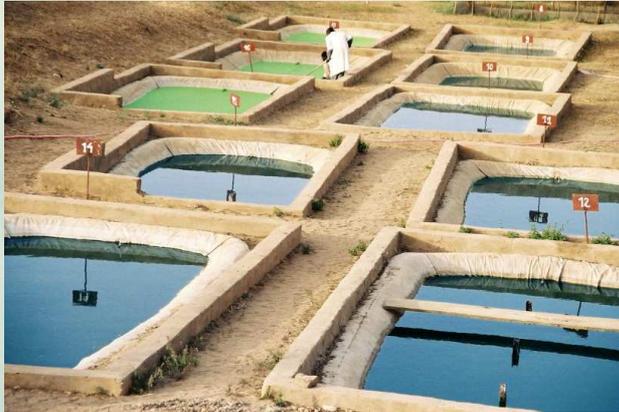


Figure 40 : Station pilote de l'université de Niamey avec collecte de lentilles d'eau et évaluation de la croissance des poissons

EU -> lentille d'eau -> tilapia

25/36

## Traitement – eau usée

### Lagunage, Niger

Para-mètre	IN	OUT
PH	6.8 - 7.3	7.9 - 8.9
Cond. (µS/cm)	662	440
MES (mg/l)	238	99.6
DBO5 (mg-O2/l)	312	98.9
DCO (mg-O2/l)	617	233 -62%
NH4 (mg-N/l)	45.7	12.8
PO4 (mg-P/l)	3.91	0.7
Coli (nr/100ml)	2.7 10 <sup>7</sup>	8.5 10 <sup>3</sup>

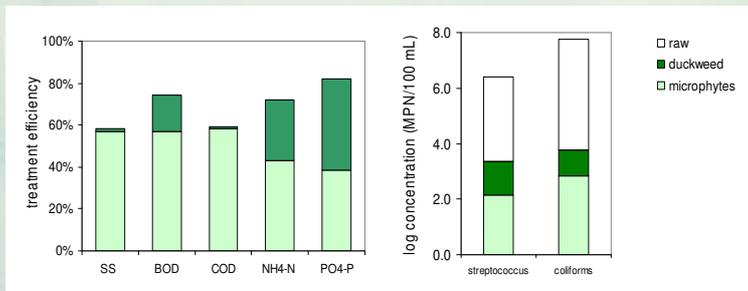
### Filtre H, Brésil

Para-mètre	Eau usée (mg/l)	UASB (mg/l)	Filtres (mg/l)**
DCO	483	179	50 \ 55 -70%
DBO	235	83	25
SST	194	60	8 \ 9
NTK	30	32	30 \ 31
N-NH4	27	29	27 \ 28
Ptot	1.9	1.9	1.4



26/36

## ▶ Récupérer le N et P



(Seidl et al., 2005 WES)

### **Production**

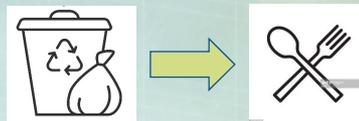
300\*10<sup>3</sup> kg/ha/an  
des lentilles d'eau  
(poids humide)

### **Conversion**

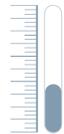
lentille /tilapia  
20 kg/kg ou 5%

### **Valorisation**

1kg lentille 100 CFA  
1kg poisson 1200 CFA



1000 EH =  
120 000 CFA /an =  
1 an salaire ouvrier



27/36

## ▶ Conclusions « 3 »

- ▶ EP Le principal objectif des techniques alternatives est de ralentir le flux traversant la zone urbaine et, si possible, d'éliminer les polluants. Cette approche s'avère fonctionnelle dans des climats tempérés (10 mm/h). La question se pose ainsi de la pertinence de cette approche dans des climats tropicaux (100 mm/h) conjuguées avec de fortes pentes et faible perméabilité (BH).
- ▶ EE Les résultats montrent que le lagunage élimine l'azote mieux que l'ANC et bien mieux que les filtres horizontaux. Le lagunage apparaît comme le plus simple pour la conversion des nutriments en biomasse utile (comestible)

### Questions:

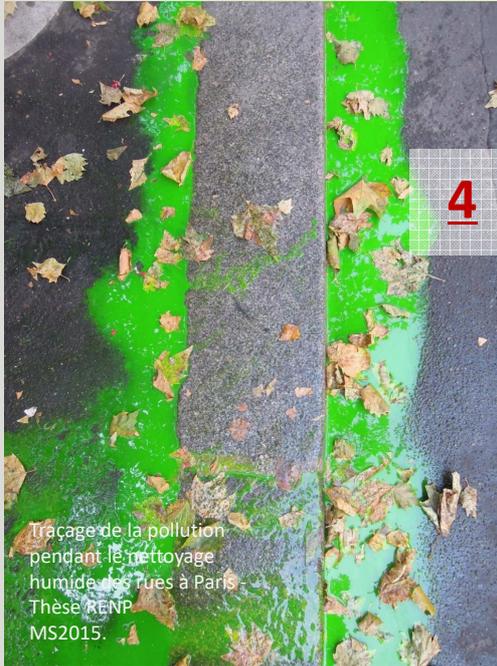
- ⚡ Quantifier et qualifier l'efficacité
- ⚡ Etablir la contribution du végétal

### Vrai ou faux:

? Les poulets (bio) de Niamey ne peuvent pas être nourris par la lentille d'eau

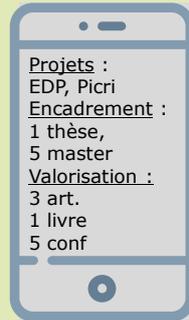


28/36



Tracage de la pollution pendant le nettoyage humide des rues à Paris  
Thèse RENP MS2015.

## 4 Eaux de ville



**Projets :**  
EDP, Picri  
**Encadrement :**  
1 thèse,  
5 master  
**Valorisation :**  
3 art.  
1 livre  
5 conf

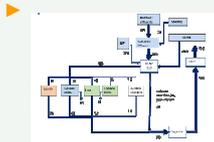
### Questionnements:

- ? Décrire les flux d'ENP et des acteurs y associés
- ? Etablir un lien entre usage et qualité

## ▶ Les références



SEIDL, Martin, DA, Guillaume, et al. (2015). Evaluating exposure of pedestrians to airborne contaminants associated with non-potable water use for pavement cleaning. *Environmental Science and Pollution Research* DOI 10.1007/s11356-015-5062-x.



SEIDL, Martin, TRINH, B.-T.C., et al (2019). Réseau d'eau non potable parisien et valorisation des eaux d'exhaure, entre limites techniques et jeux d'acteurs complexes. *Techniques Sciences Méthodes* DOI 10.36904/tsm/201912131.



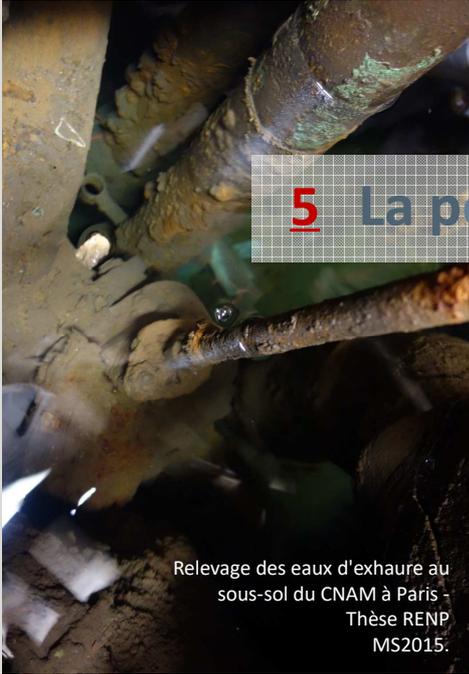
SEIDL, Martin, (2020). *Aménager la ville avec l'eau, pour un résilience face aux changements globaux* Presses des Ponts: ISBN 978-2-85978-512-3.

### Vrai ou faux:

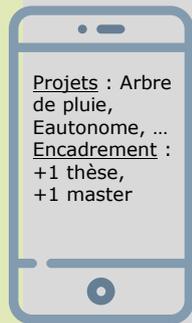
- ? Nager dans le bassin de la Vilette est plus risqué que marcher dans le jet d'une « laveuse » parisienne



## 5 La perspective – closing the loop



Relevage des eaux d'exhaure au sous-sol du CNAM à Paris -  
Thèse RENP  
MS2015.



## ▶ Du concept à la pratique

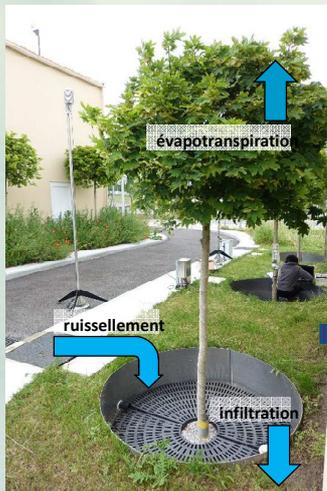
- ▶ **Hypothèse** : en gérant le flux (polluant) d'eau au plus près de leur production et en introduisant de la réutilisation on peut contribuer effectivement à une ville plus soutenable
- ▶ La littérature emploie de différents termes pour s'interroger sur le rôle joué par l'eau dans l'espace urbain. Le concept qui nous parait le plus exhaustif, celui de la ville sensible à l'eau (WSUD), qui intègre les multiple flux des eaux urbaine afin de maintenir le comportement naturel des bassins versants et améliorer la qualité de vie en ville.
- ▶ Les projets suivant tenterons de mettre en pratique ce concept sous forme des cycles courts de l'eau

### Questionnements:

- ? Peut on traiter efficacement le ruiss. urbain avec des arbres?
- ? le RENP peut il fonctionner dans les deux sens ?
- ? Peut on diminuer les usages domestiques en eau de 50% avec (socio-) techniques passives ?



## ▶ Arbre de pluie



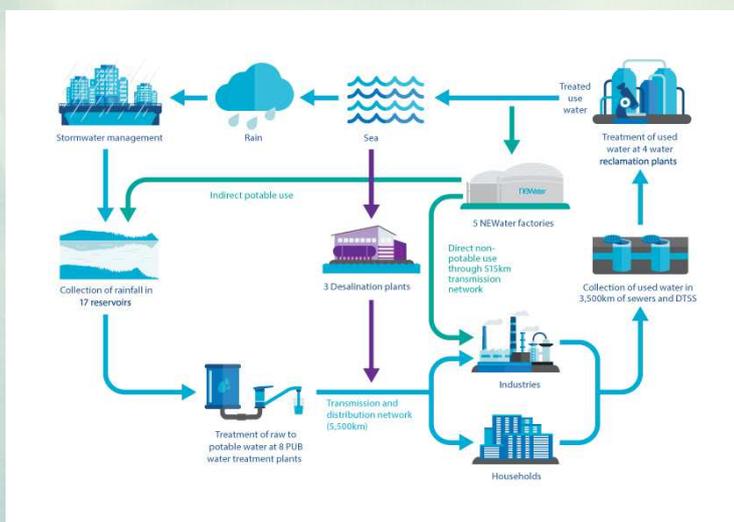
De la conception à la diffusion d'un dispositif pour la gestion du ruissellement urbain  
 - changement d'échelle  
 - freins et leviers sociotechnique ?

Cadre: Opur 5  
 Partenaires: VdP



33/36

## ▶ RENP protéiforme



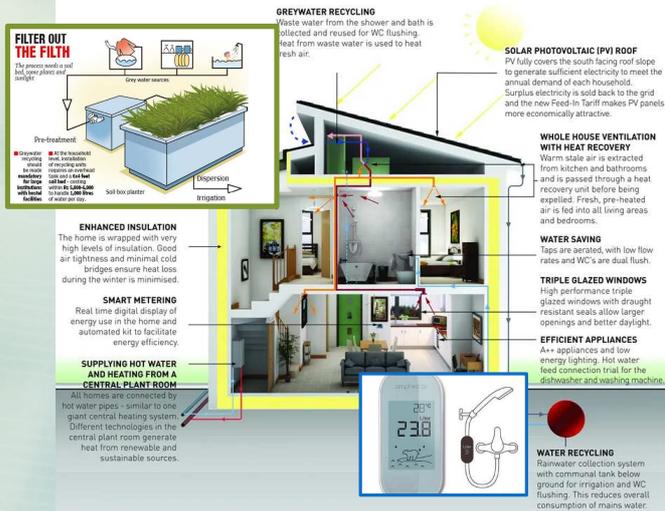
Enjeux d'un réseau d'eau non potable bidirectionnel pour la collecte et la distribution des ressources alternatives exhaure, pluviale, piscine  
 - Usages /qualité ?  
 - Échelle ?  
 - Traitement ?

Cadre:  
 Thèse ENP, Opur 4  
 Partenaires:  
 EDP, VdP, RATP



34/36

# ▶ Eautonome /off the grid



Réutilisation intelligente des eaux grises

- traitement partiel (biofiltration)
- adaptation socio-technique
- capacité d'adaptation- too smart metering / domotique

**Cadre:**  
AAP AESN, Ademe, Opur 6

**Partenaires:**  
Suez ?



35/36

FIN

Merci de votre attention et enthousiasme

36/36

