

Nature en ville pour la gestion des eaux pluviales : perspectives de recherche à travers les échelles urbaines

Pierre-Antoine Versini (HM&Co-ENPC)
pierre-antoine.versini@enpc.fr

23 Avril 2024

GT Transition écologique-Ville durable

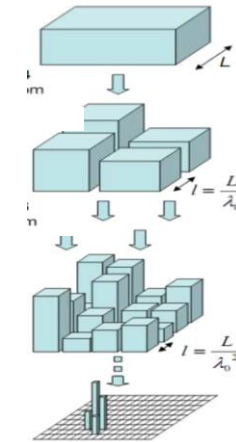
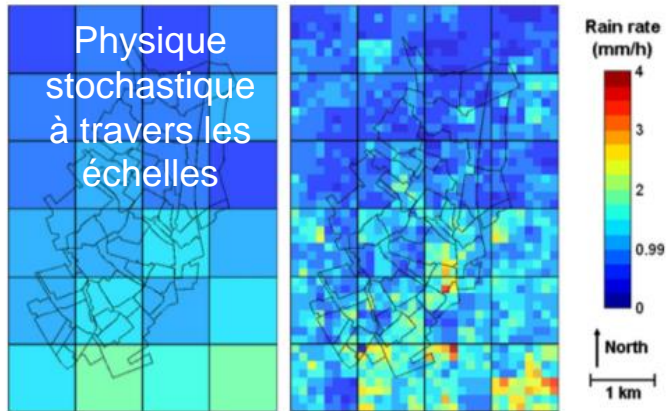


Présentation du laboratoire

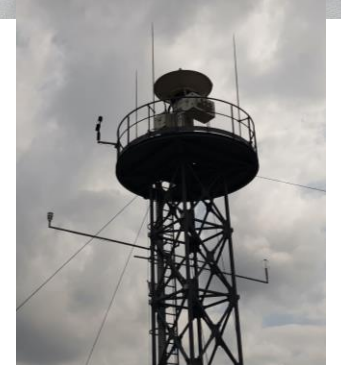
Observer,
comprendre,
modéliser et gérer
l'eau comme un
risque et une
ressource dans les
systèmes urbains



Déploiement de
capteurs météo
hautes résolutions



Analyses
multifractales et
modélisation de
systèmes
complexes



Ville durable et résiliente réconciliant l'urbanisme avec la géophysique

Les Solutions fondées sur la Nature comme outils d'adaptation



Gestion des eaux pluviales

Atténuation des îlots de chaleur

Préservation de la biodiversité

Approche systémique, multi-échelle et multi-physique :

- Compréhension des processus thermo-hydro-mécaniques
- Prise en compte de interactions nombreuses propres au milieu urbain

Instrumentation

Modélisation

Prospective/Planification

Les Solutions fondées sur la Nature comme outils d'adaptation



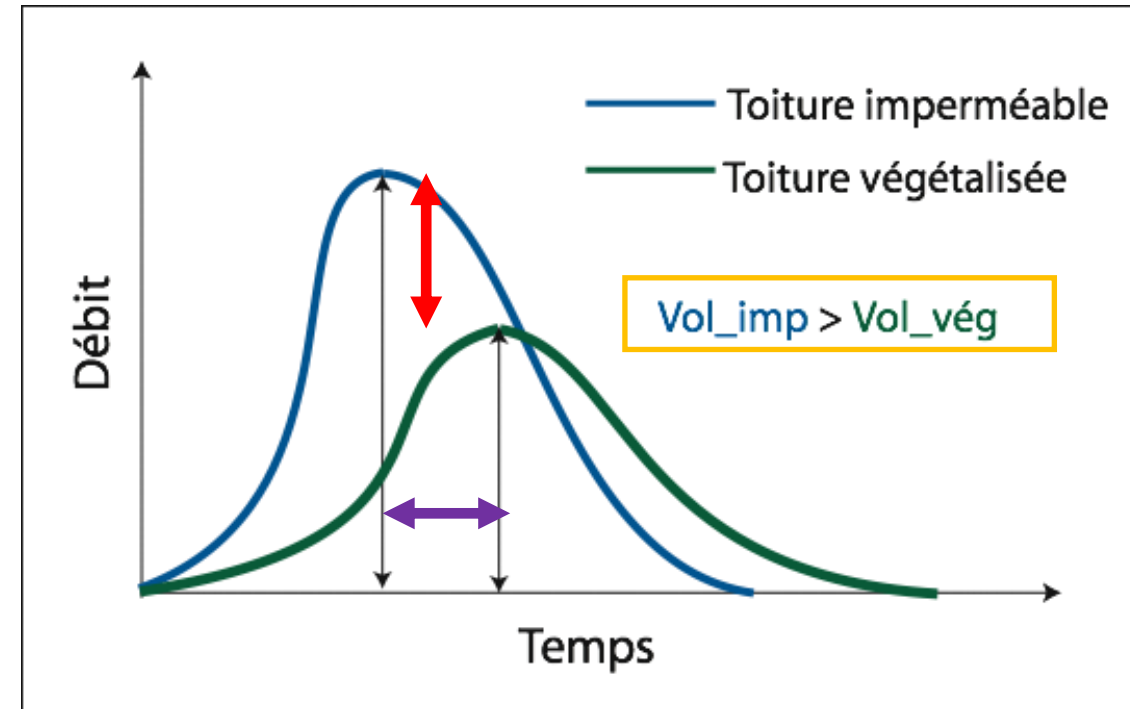
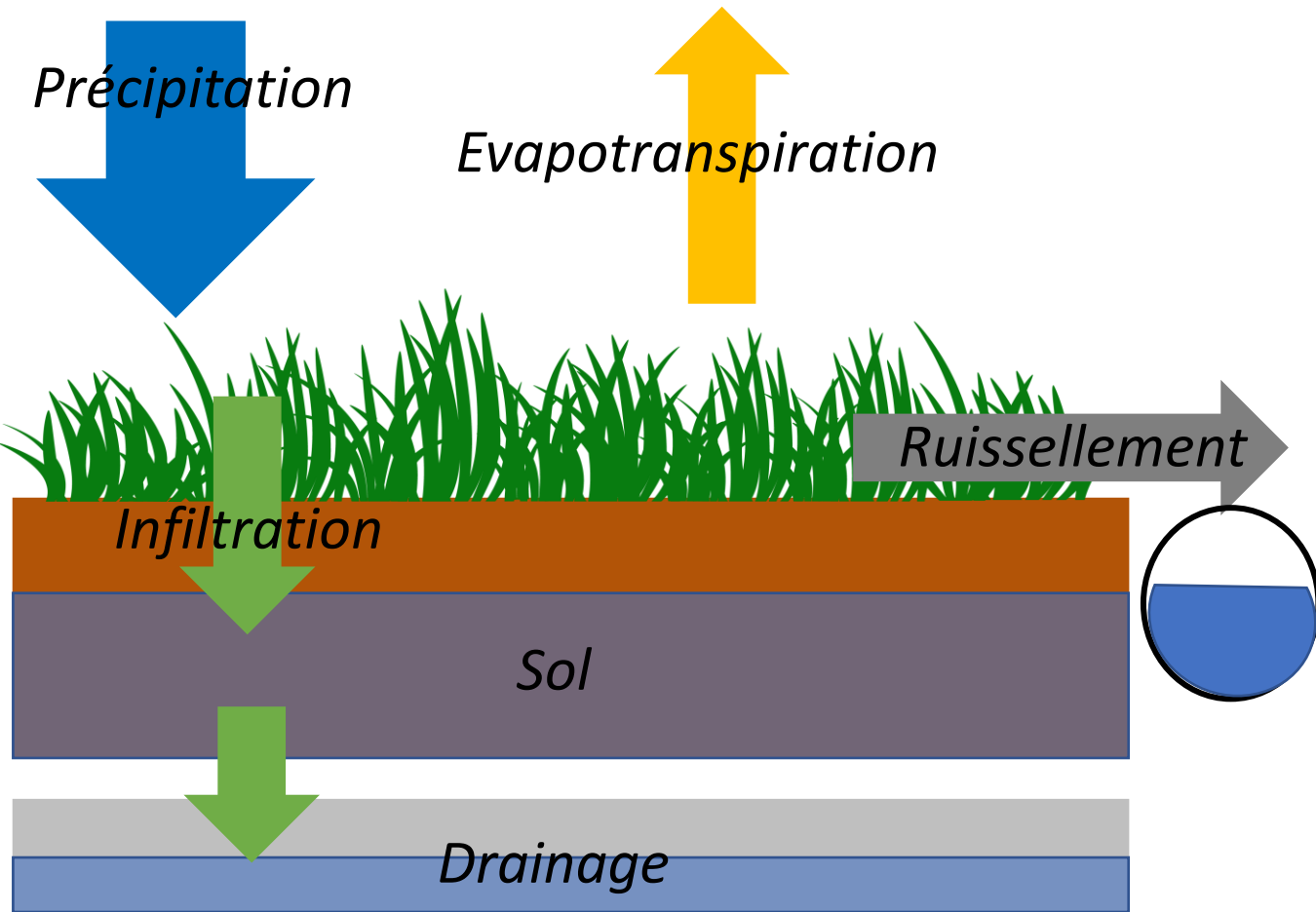
Toiture végétalisée



Jardin de pluie



Les Solutions fondées sur la Nature comme outils de gestion des eaux pluviales



Ralentissement de l'écoulement

Diminution du débit de pointe

Diminution du volume ruisselé

Conséquences et impacts

Débordement



Inondation par ruissellement



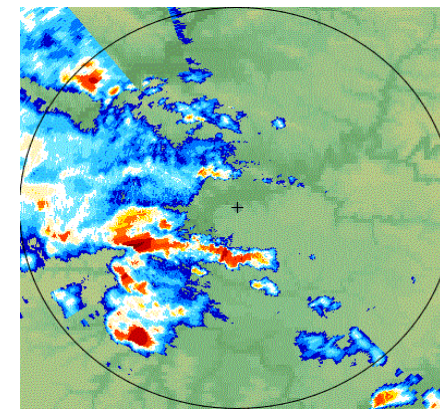
Stagnation des eaux pluviales



Déversement dans le milieu récepteur

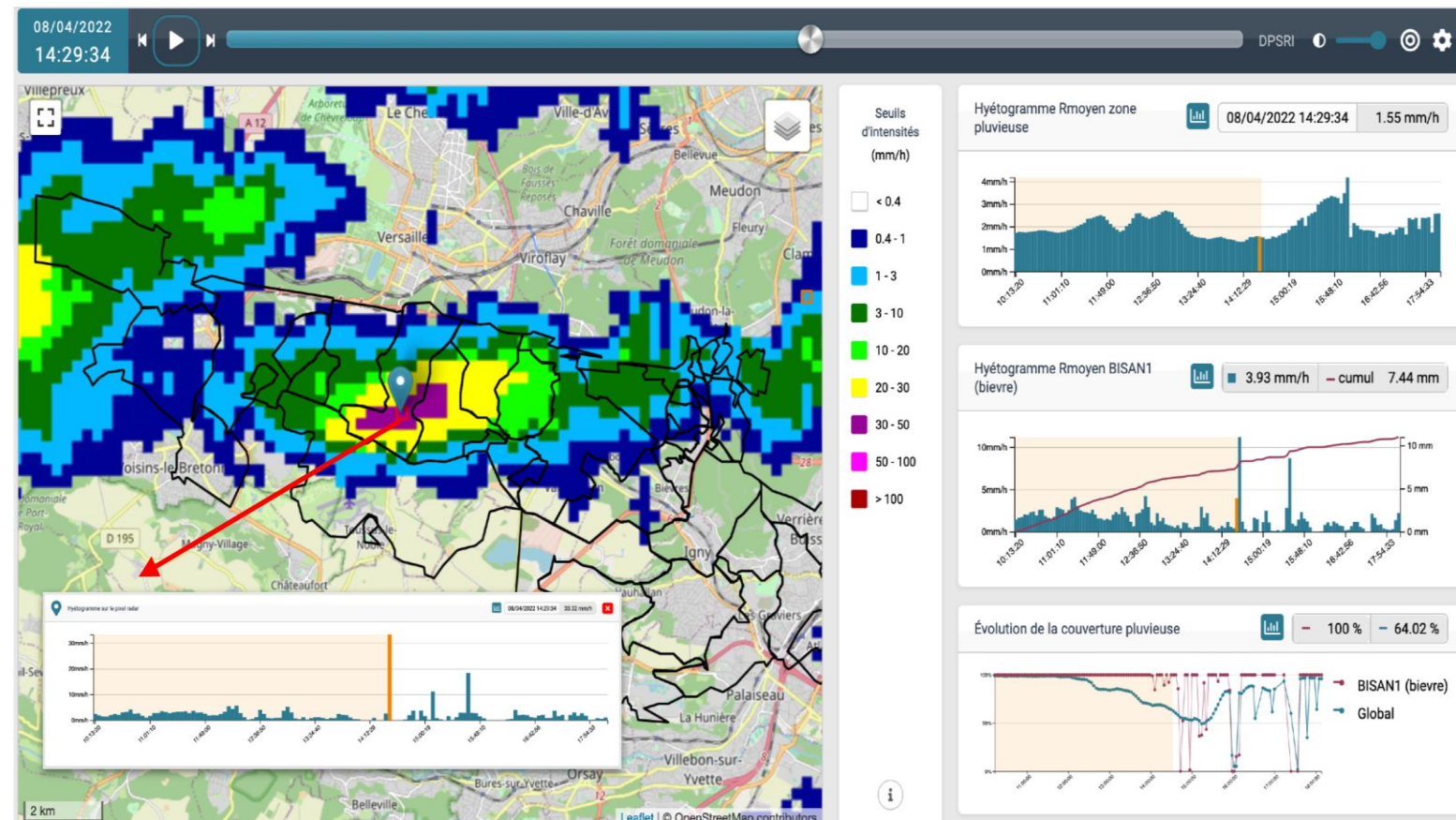


Les précipitations



Plateforme radar RadX
développé par G. Drouen
(HM&Co-ENPC)

Comment appréhender
l'hétérogénéité spatiale ?
Comment appréhender la
variabilité temporelle ?
Comment prévoir les
précipitations ?
Quelles seront les
conséquences du changement
climatique ?



Les précipitations

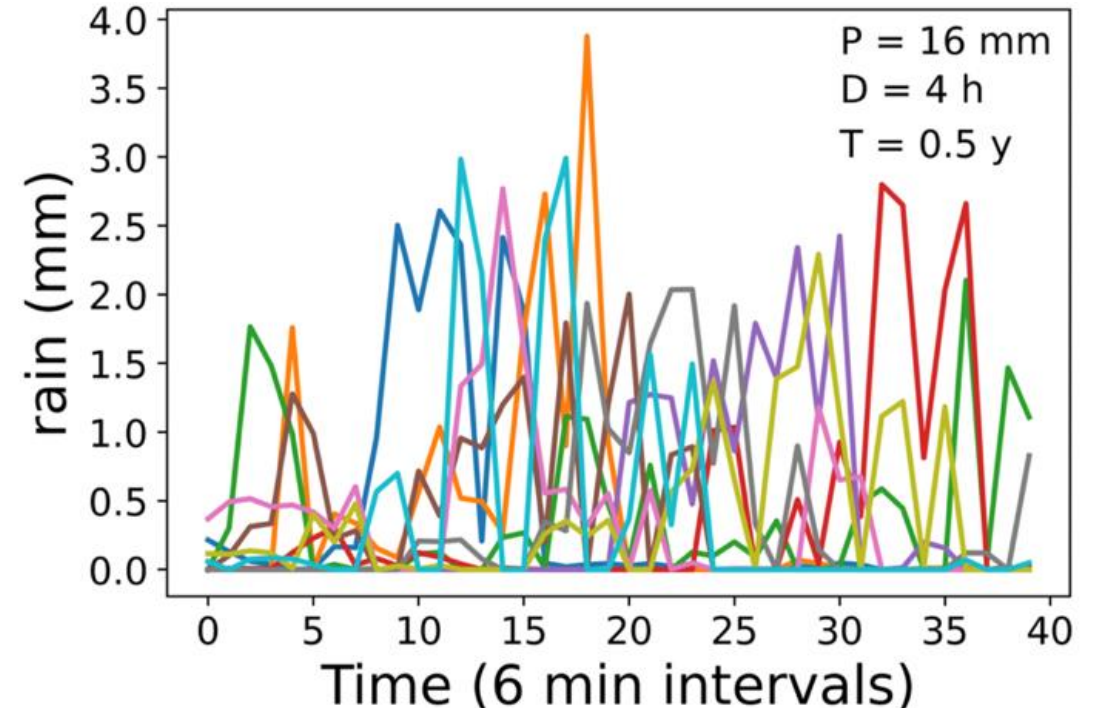
**Comment appréhender
l'hétérogénéité spatiale ?
Comment appréhender la
variabilité temporelle ?**

Comment prévoir les
précipitations ?

Quelles seront les
conséquences du changement
climatique ?

Pluie de référence = pluie uniforme ?
Ex de Paris : 16 mm en 4h

- Analyse des données historiques (Météo-France) à travers les échelles temporelles
- Utilisation des Multifractales Universelles pour réaliser des simulations stochastiques d'événements pluvieux caractérisés par P , D , T



L'infiltration et l'évapotranspiration

A l'échelle du matériau

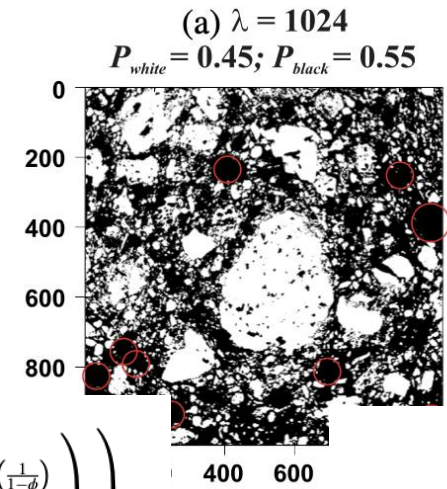
Comment tenir compte de l'hétérogénéité spatiale ?

Comment tenir compte de la variabilité temporelle ?

Comment choisir des complexes Sol/Végétation adaptés ?

Comment anticiper le fonctionnement hydrologique ?

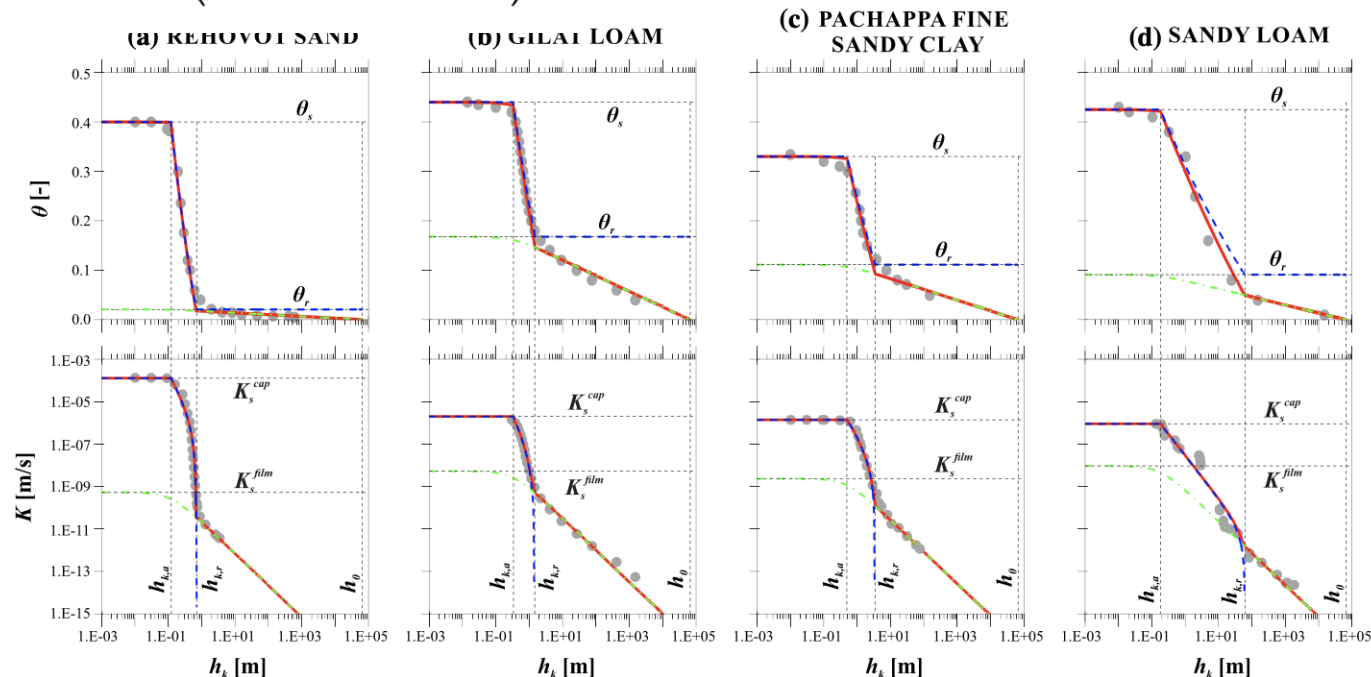
Quelles seront les conséquences du changement climatique ?



Stanic et al, 2020
 Ramanathan et al, 2023

$$\Pr(d_p < d_{p,t}) = \left(1 - \frac{\left(\frac{L}{d_{p,t}}\right)^{-c \left(\frac{\log\left(\frac{1}{1-\phi}\right)}{\log\left(\frac{L}{d_{p,t}}\right)}\right)}}{1 - \phi} \right) p_2$$

$$S_e(h) = 1 - \frac{\left(\frac{h}{h_a}\right)^{-c \left(\frac{\log\left(\frac{1}{1-(\theta_s-\theta_r)}\right)}{\log\left(\left(\frac{h}{h_a}\right)^{p_{ie}}\right)}\right)}{1 - (\theta_s - \theta_r)} (p_{ie})$$



L'infiltration et l'évapotranspiration

A l'échelle de l'infrastructure

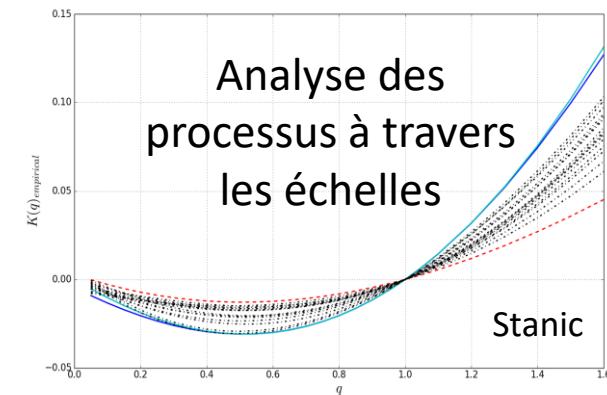
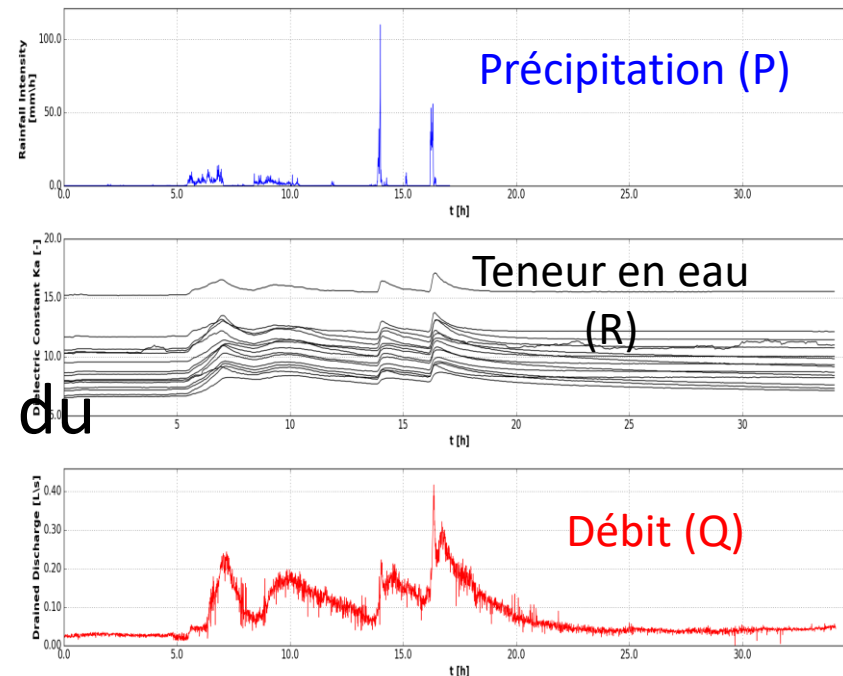
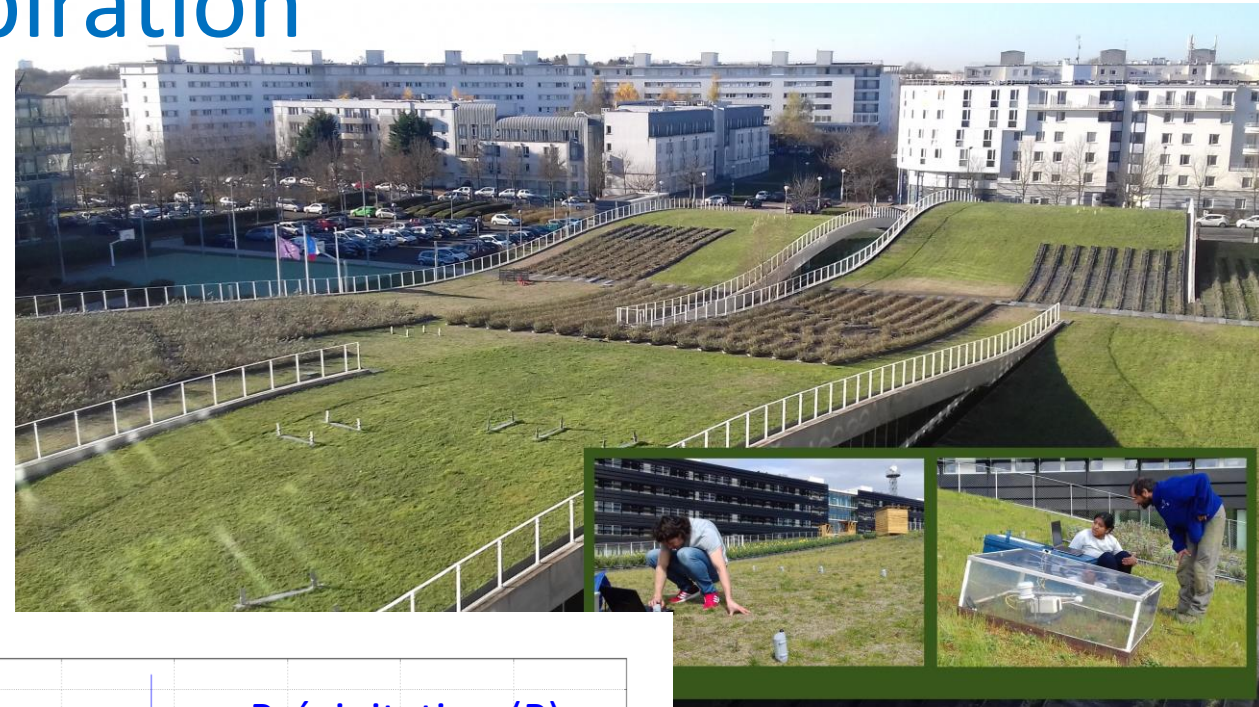
Comment tenir compte de l'hétérogénéité spatiale ?

Comment tenir compte de la variabilité temporelle ?

Comment choisir des complexes Sol/Végétation adaptés ?

Comment anticiper le fonctionnement hydrologique ?

Quelles seront les conséquences du changement climatique ?



L'infiltration et l'évapotranspiration

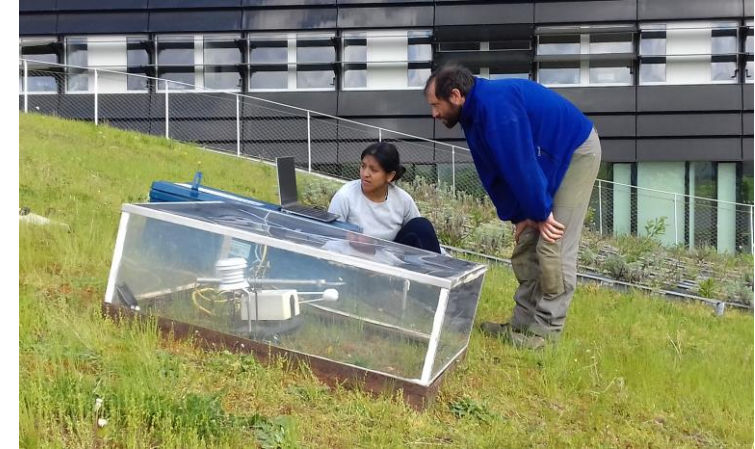
Comment tenir compte de l'hétérogénéité spatiale ?

Comment tenir compte de la variabilité temporelle ?

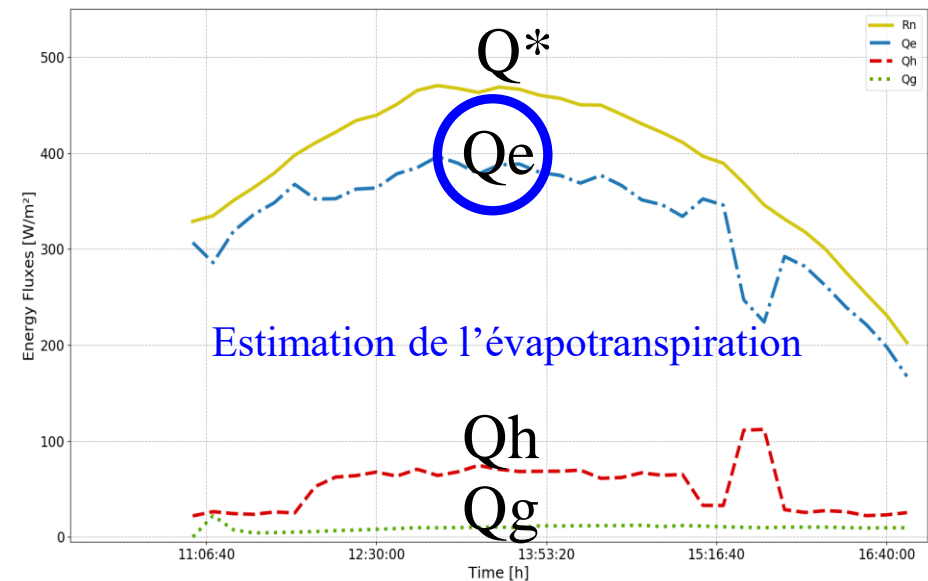
Comment choisir des complexes Sol/Végétation adaptés ?

Comment anticiper le fonctionnement hydrologique ?

Quelles seront les conséquences du changement climatique ?



$$Q_e = Q^* - Q_h - Q_g$$



L'infiltration et l'évapotranspiration

Comment tenir compte de l'hétérogénéité spatiale ?

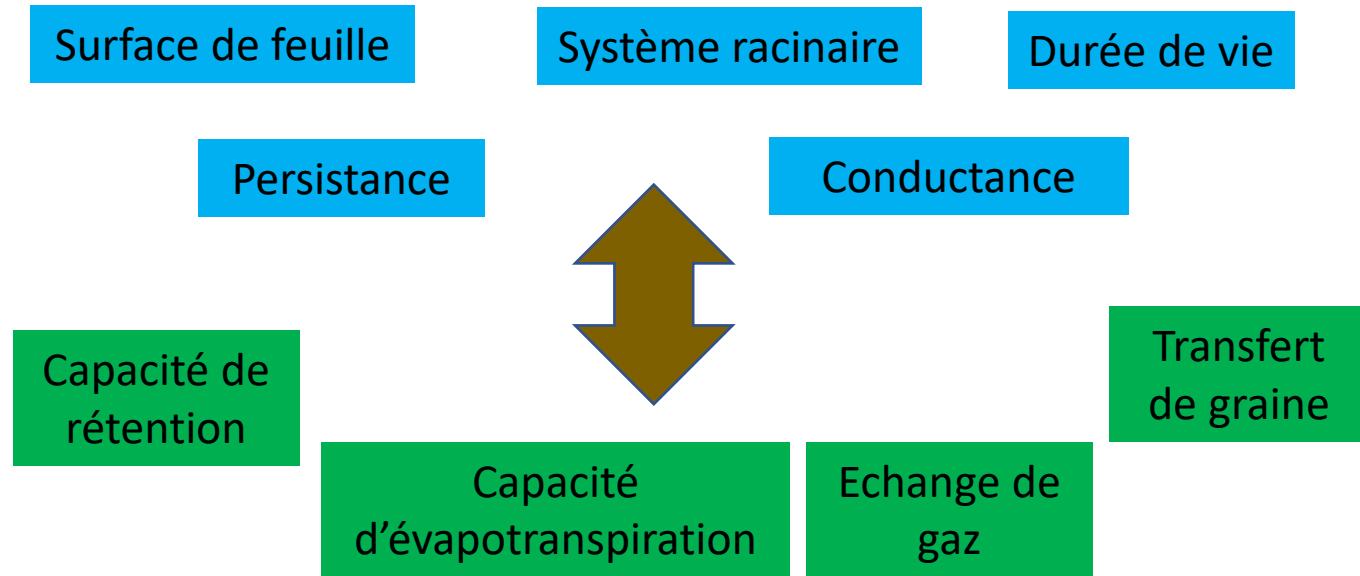
Comment tenir compte de la variabilité temporelle ?

Comment choisir des complexes Sol/Végétation adaptés ?

Comment anticiper le fonctionnement hydrologique ?

Quelles seront les conséquences du changement climatique ?

Relation entre traits fonctionnels et fonctions écosystémiques



Recommandations



L'infiltration et l'évapotranspiration

Comment tenir compte de l'hétérogénéité spatiale ?

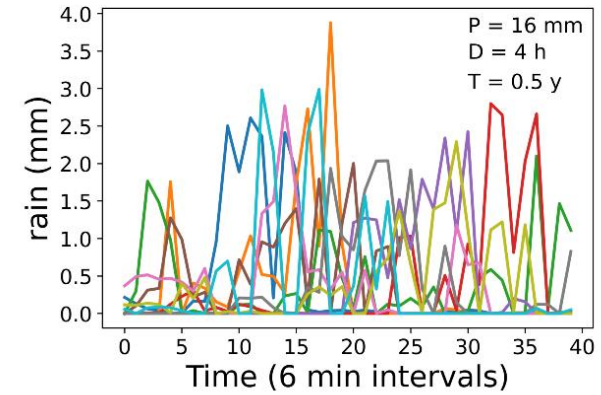
Comment tenir compte de la variabilité temporelle ?

Comment choisir des complexes Sol/Végétation adaptés ?

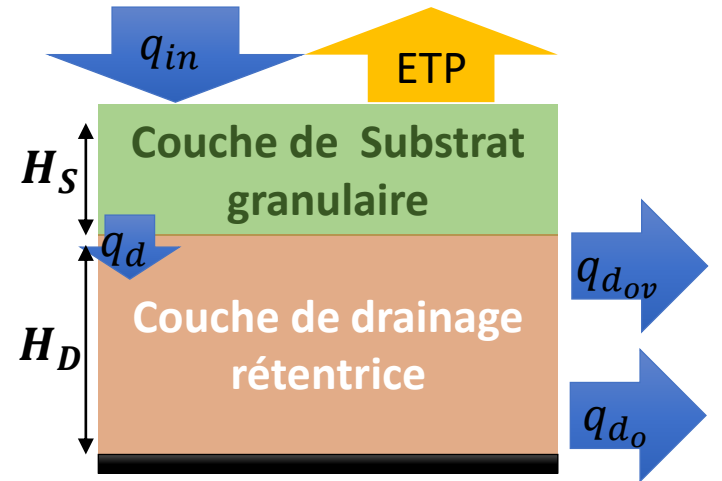
Comment anticiper le fonctionnement hydrologique ?

Quelles seront les conséquences du changement climatique ?

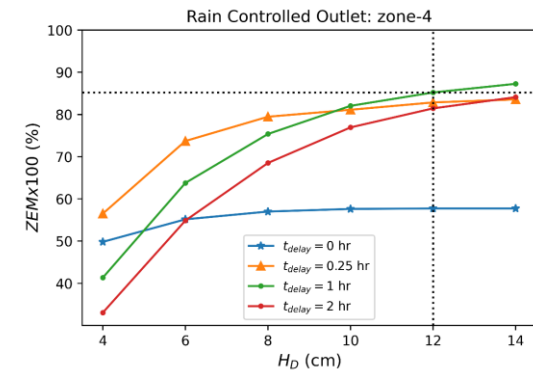
Modélisation
de la pluie



Modélisation
hydrologique



Optimisation
d'une solution



L'infiltration et l'évapotranspiration

Comment tenir compte de l'hétérogénéité spatiale ?

Comment tenir compte de la variabilité temporelle ?

Comment choisir des complexes Sol/Végétation adaptés ?

Comment anticiper le fonctionnement hydrologique ?

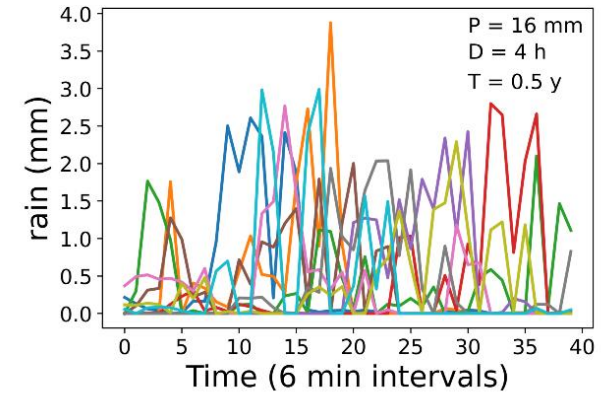
Quelles seront les conséquences du changement climatique ?

Extrêmes climatiques ?

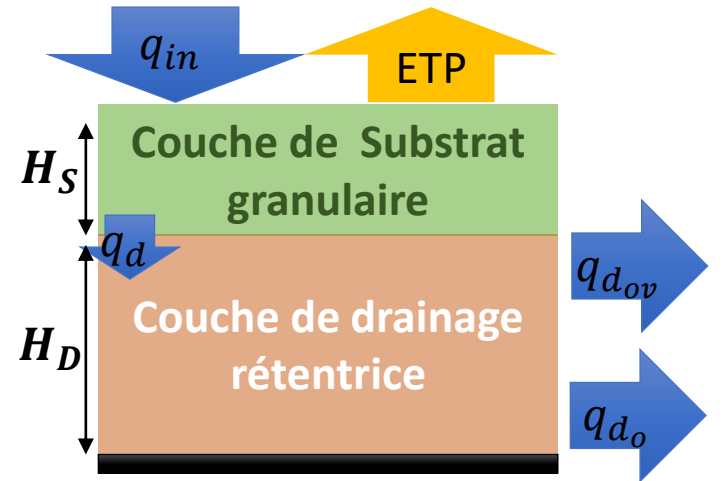
Processus stationnaires ?

Pérennité de la végétation ?

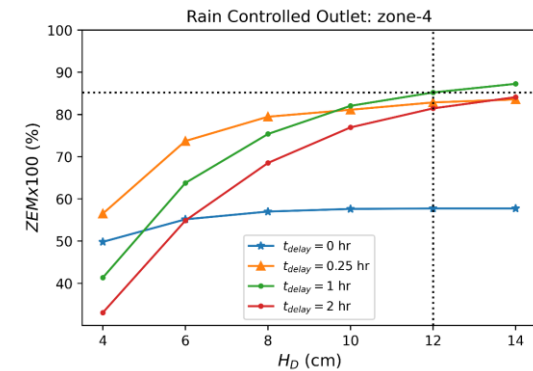
Modélisation de la pluie



Modélisation hydrologique



Optimisation d'une solution



Gérer les eaux pluviales aux échelles urbaines

Comment anticiper le fonctionnement hydrologique ?

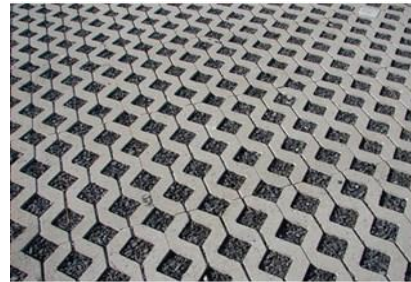
Comment répondre à des contraintes réglementaires rigides devant tant de variabilités ?

Comment parvenir à un agencement optimal des solutions

Comment prendre en compte d'autres services ?



Toitures végétalisées



Pavés poreux



Jardin d'orage



Bassins

50 m



Noues



Gérer les eaux pluviales aux échelles urbaines

Comment anticiper le fonctionnement hydrologique ?

Comment répondre à des contraintes réglementaires rigides devant tant de variabilités ?

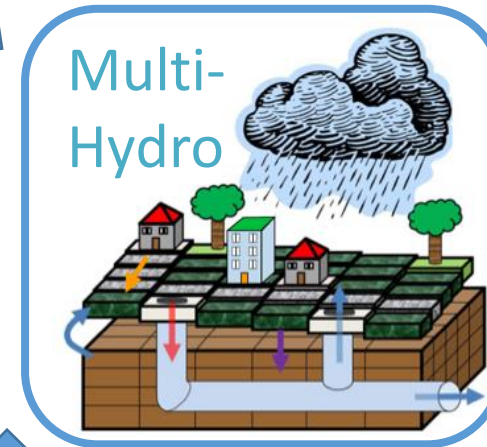
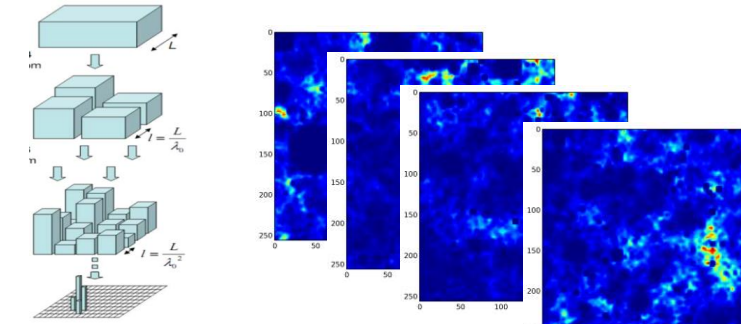
Comment parvenir à un agencement optimal des solutions ?

Comment prendre en compte d'autres services ?

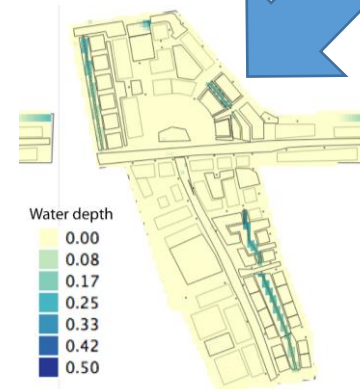
Scénarios occupation des sols



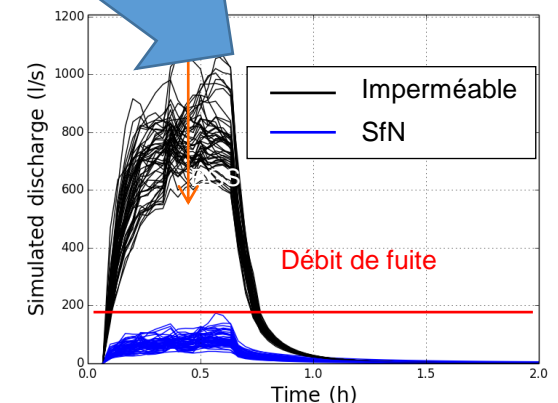
Scénarios de précipitations



Respect des contraintes réglementaires



Eaux en surface et Zones inondées



Gérer les eaux pluviales aux échelles urbaines

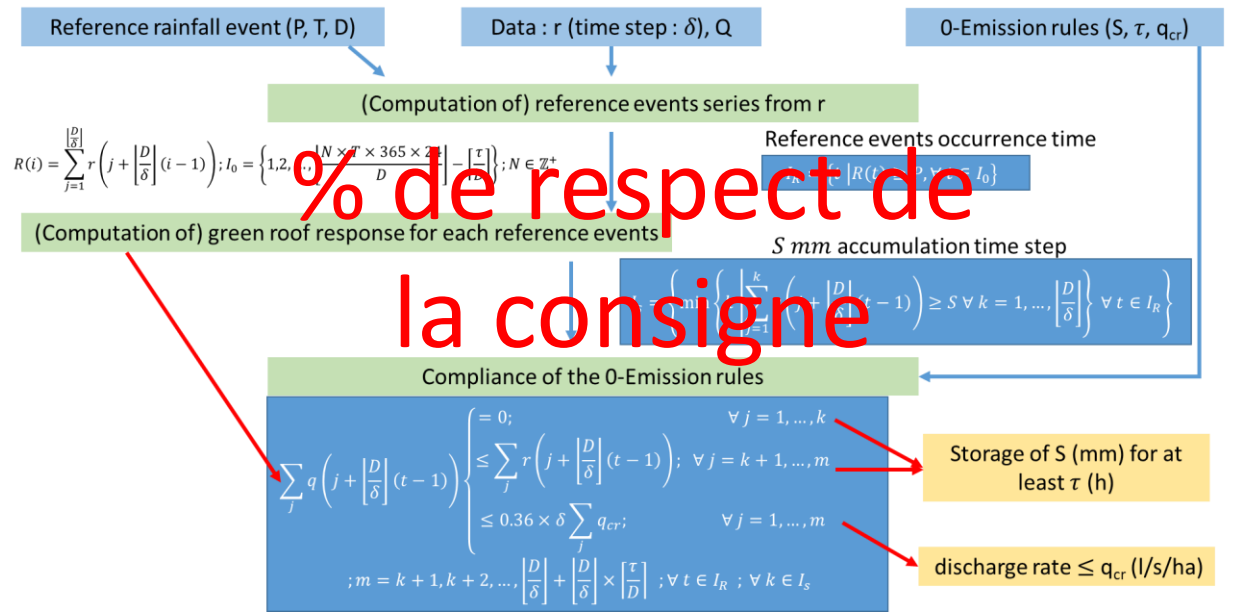
Comment anticiper le fonctionnement hydrologique ?

Comment répondre à des contraintes réglementaires rigides devant tant de variabilités ?

Comment parvenir à un agencement optimal des solutions ?

Comment prendre en compte d'autres services ?

#	Commune	Réglementation					
		Pluie de référence			Caractéristiques de la régulation		
		P (mm)	D (hr)	T (yr)	S (mm)	τ (hr)	q (l/s/ha)
1	Paris	16	4	0.5	Z1 : 4 Z2 : 8 Z3 : 12 Z4 : 16	24	Z1 : 10 - - -
2	Lyon	15	24	0.04	15	≤ 24	5
3	Marseilles - Aix-en-Provence	164	2	100	Z1 : 160	24	Z1 : 10
		164	2	100	Z2 : 125		Z2 : 12
		122	2	50	Z3 : 120		Z3 : 10
		100	2	30	Z4 : 100		Z4 : 10
		100	2	30	Z5 : 100		Z5 : 15
4	Toulouse	≥ 5	TBE	20	5	≤ 24	10
5	Bordeaux	47	2	100	≤ 47	24	3



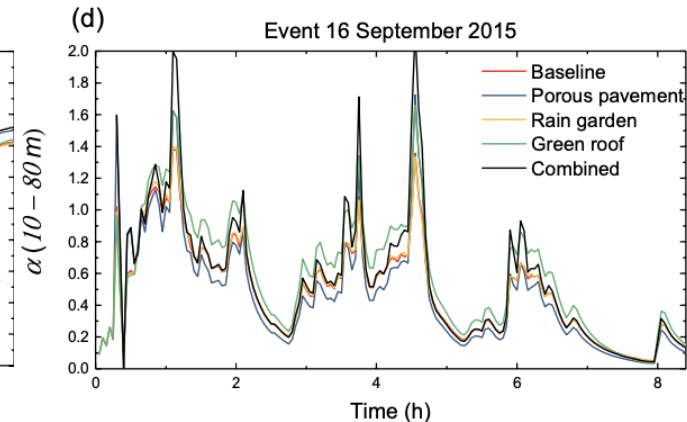
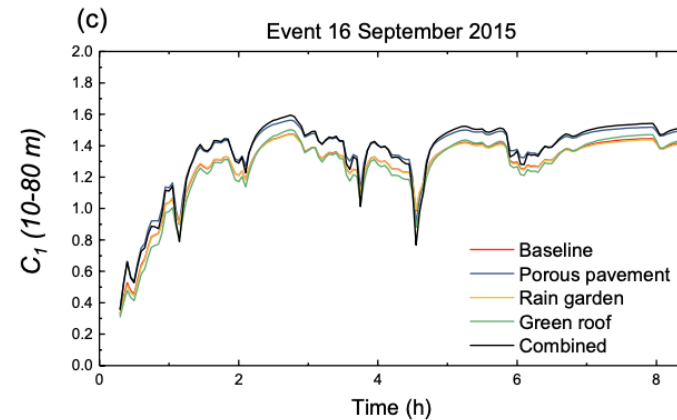
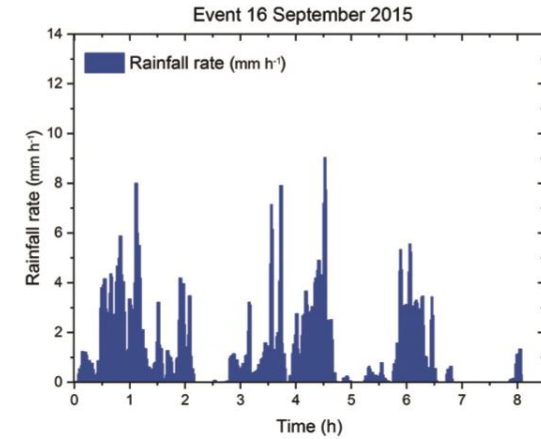
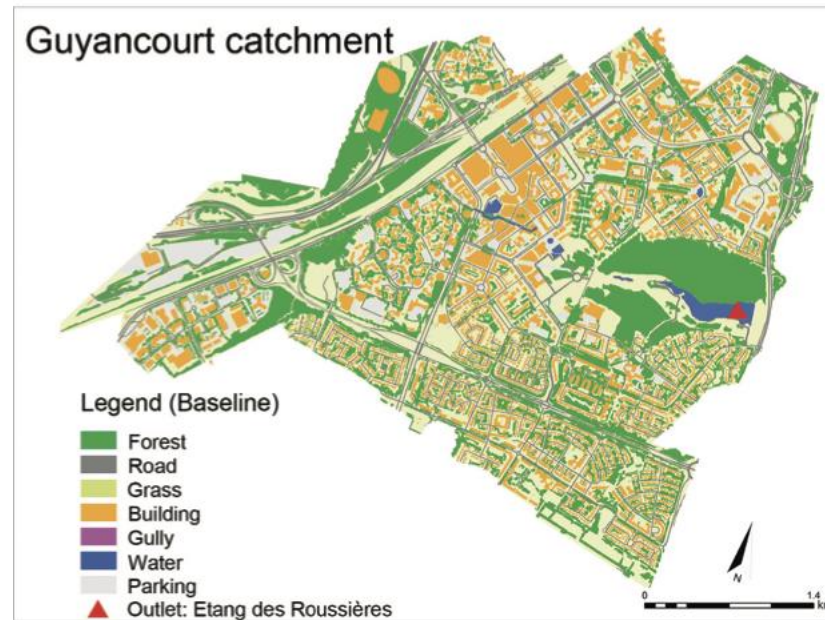
Gérer les eaux pluviales aux échelles urbaines

Comment anticiper le fonctionnement hydrologique ?

Comment répondre à des contraintes réglementaires rigides devant tant de variabilités ?

Comment parvenir à un agencement optimal des solutions ?

Comment prendre en compte d'autres services ?



Multifractales universelles
 α : degré de multifractalité
 C_1 : intermittence moyenne

Yangzi Qiu, et al. (2022)

Gérer les eaux pluviales aux échelles urbaines

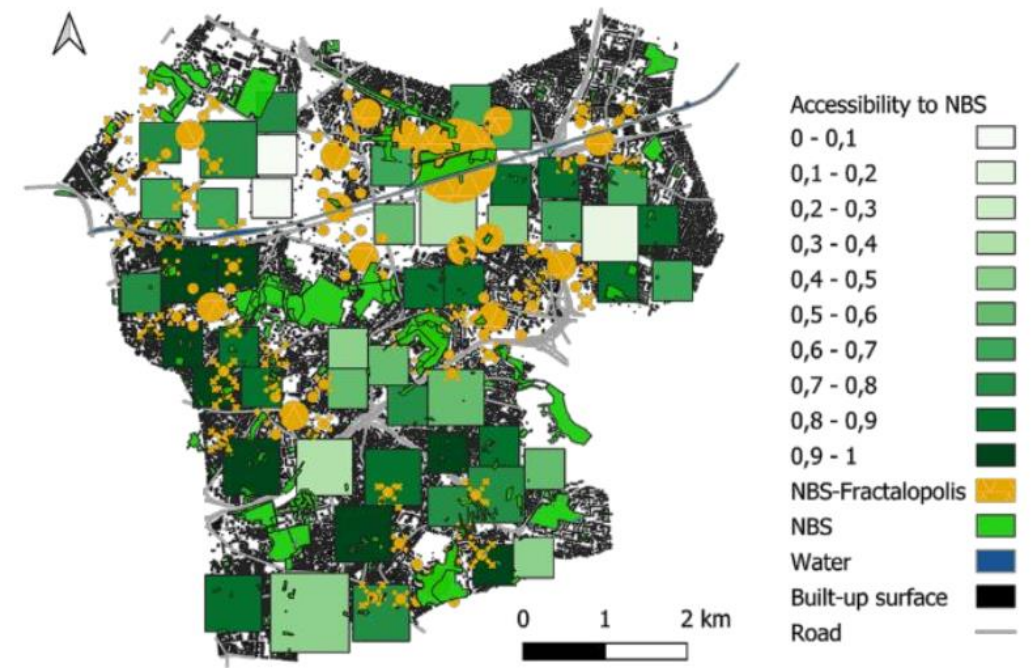


Comment anticiper le fonctionnement hydrologique ?

Comment répondre à des contraintes réglementaires rigides devant tant de variabilités ?

Comment parvenir à un agencement optimal des solutions ?

Comment prendre en compte d'autres services ?

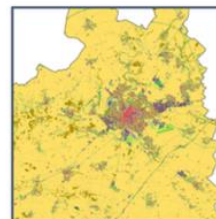


Simulations d'accessibilité aux SfN réalisées à l'aide de Fractalopolis sur Est-Ensemble (A. Castellanos)

Thèse en cours de L. Valide

Graph analysis for green spaces connectivity

25x25km
Conurbation



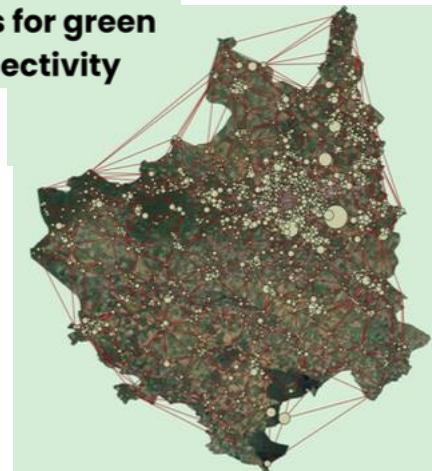
5x5km
Town



1x1km
District



200x200m
Lot

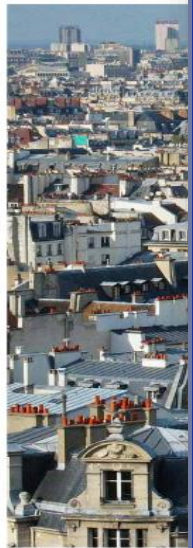


Comment anticiper les réglementations de demain ?



MAIRIE DE PARIS

GUIDE D'AMENAGEMENT
POUR LA GESTION
DU ZONAGE



Un plan à horizon et une



Département Loire Atlantique
Commune de Bourgneuf en Retz

DEPARTEMENT DE LA LOIRE ATLANTIQUE



Zonage des Eaux Pluviales

Règlement de zonage des Eaux Pluviales



Repenser
Stratégie



GESTION DURABLE
DES EAUX PLUVIALES

Guide pratique

Faites de l'eau l'atout de vos projets



PLA
ÉCO
CIT

ADOPTÉ
DES 3, 4

201

LIN
Plan
Trans

Dossier d'approbation par le Conseil Communautaire de Linoges Métropole en date du 26 juin 2019



OCTOBRE 2012

Nature en ville pour la gestion des eaux pluviales : perspectives de recherche à travers les échelles urbaines

Comment appréhender l'hétérogénéité spatiale des processus hydrologiques ?

Comment appréhender la variabilité temporelle des processus hydrologiques ?

Comment prévoir et anticiper ces processus hydrologiques ?

Quelles seront les conséquences du changement climatique ?

Comment répondre à des contraintes réglementaires rigides devant tant de variabilités ?

Comment parvenir à un agencement optimal des solutions ?

Comment prendre en compte d'autres services ?

Comment anticiper les réglementations de demain ?

Pierre-Antoine Versini (HM&Co-ENPC)

pierre-antoine.versini@enpc.fr

