# Vivre avec les inondations: hydrologie et résilience

*D. Schertzer et I. Tchiguirinskaia*
*HM&Co , ENPC*

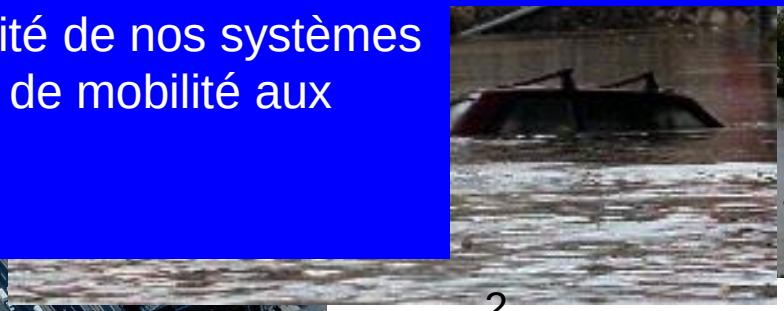
**Rencontre Collaborative**
**Résilience Urbaine face au Risque Inondation**
**Orléans**
**13 octobre 2016**

# L'urbanisation se poursuit…

École des Ponts ParisTech

Transition de la gestion des risques à des systèmes résilient

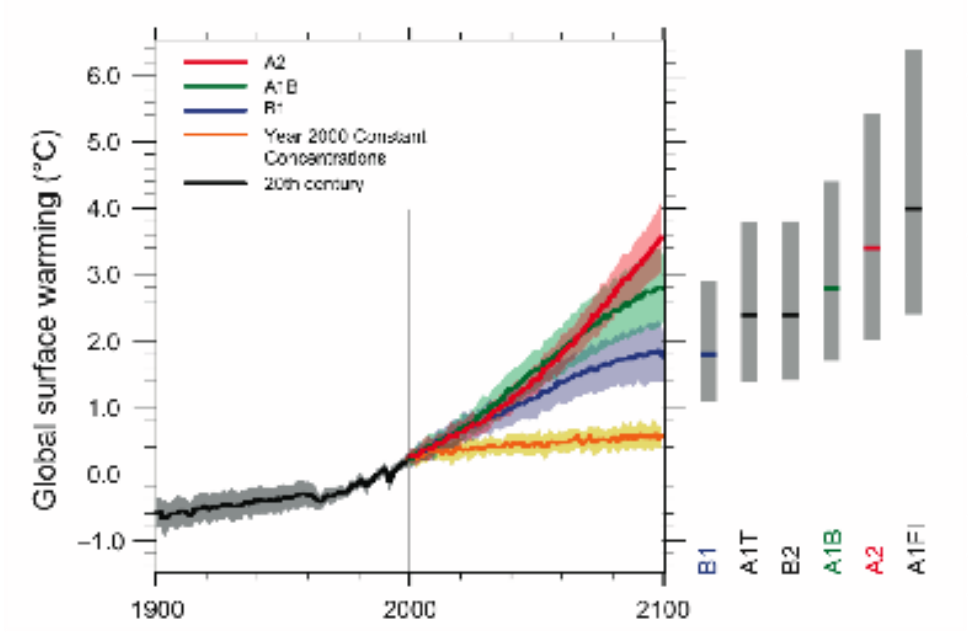
- Directives Union Européenne:
  - « vivre avec les inondations »
  - « retour au bon état écologique »



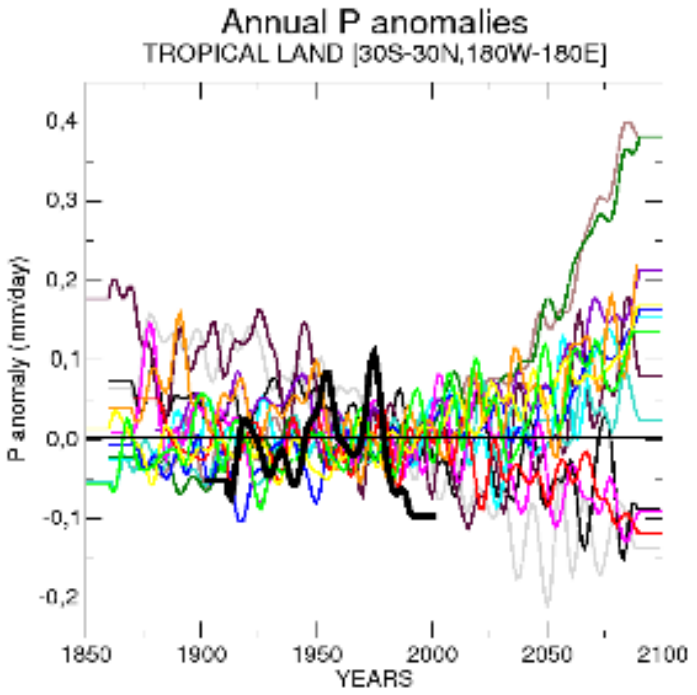
- Vulnérabilité de nos systèmes urbains et de mobilité aux extrêmes

# …dans le contexte du changement climatique

- Comment rendre résilientes nos villes?
- Quelles stratégies de réduction/adaptation
- Comment descendre aux échelles pertinentes?




Accord des simulations sur l'augmentation de la température

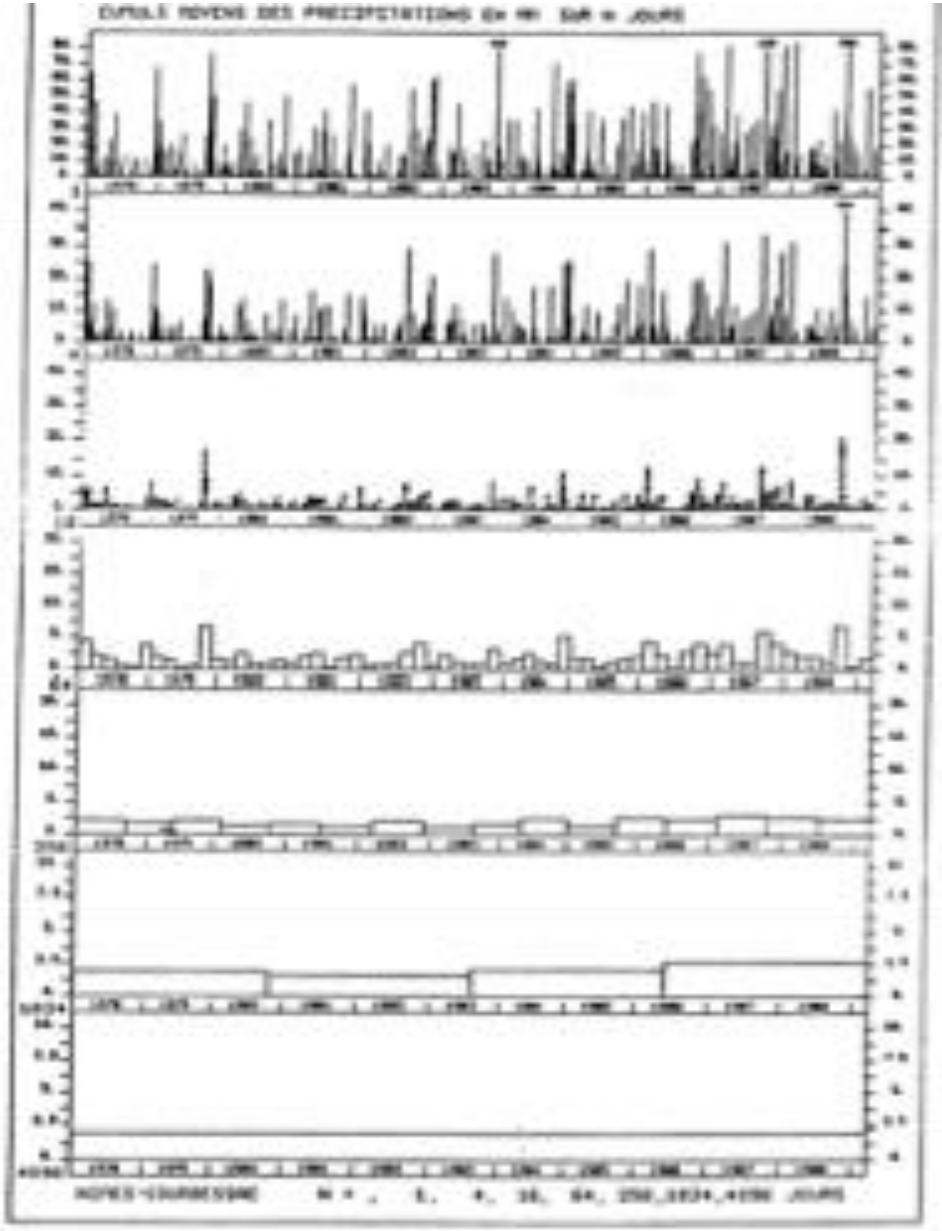



Désaccords sur les précipitations

(Résolution spatiale ≈ 250km)

# Nimes

Les larmes du crocodile, SDIS30

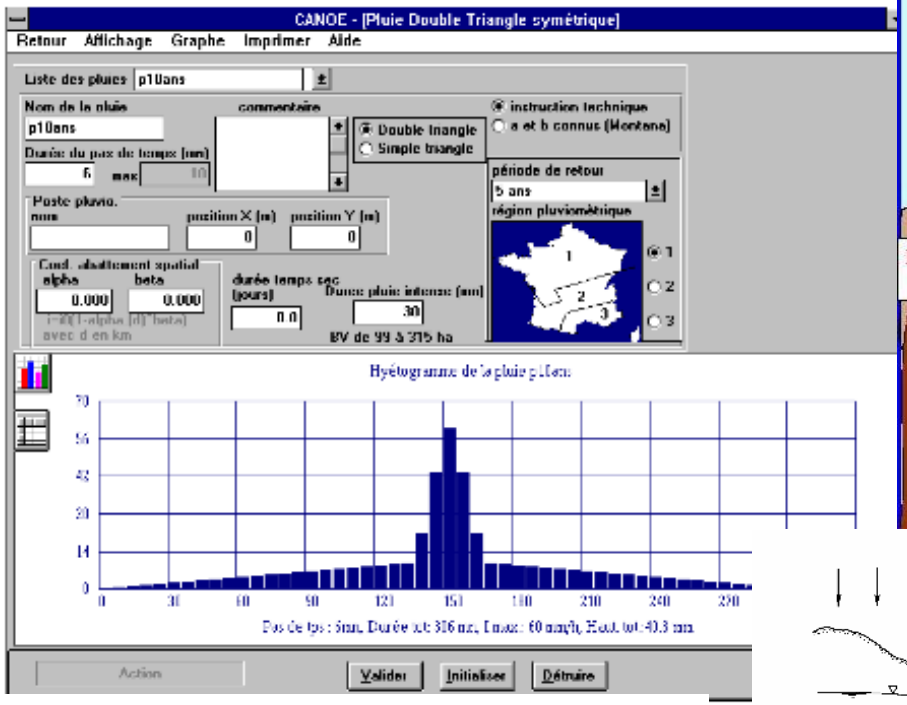


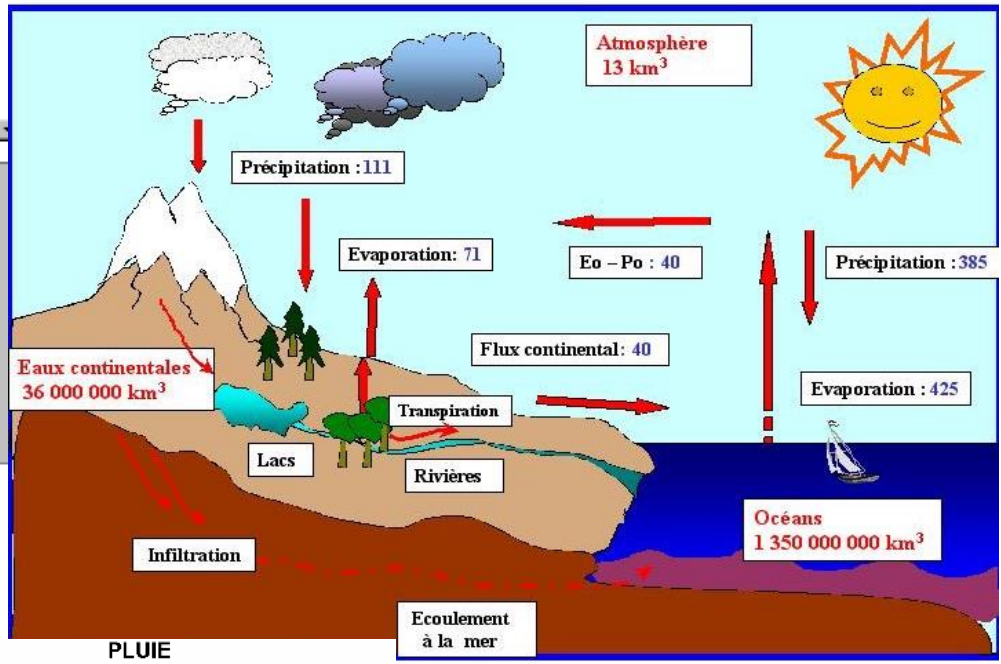
Rain rates at Nîmes (France) 1978 - 1988 averaged over (from top to bottom): 1, 4, 16, 64, 256, 1024 and 4096 days. (Ladoy et al., 1993)
.

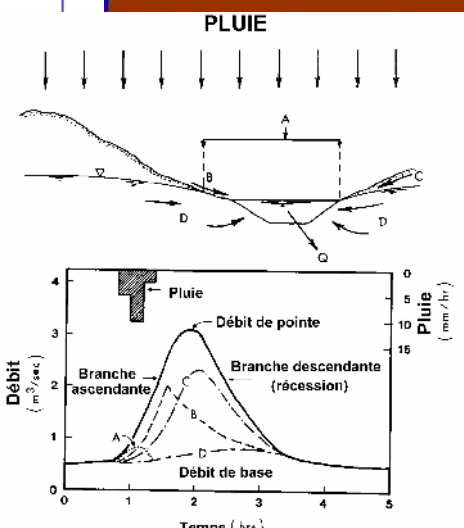
# 19 - 20 November 2013 in Sardinia (Italy)

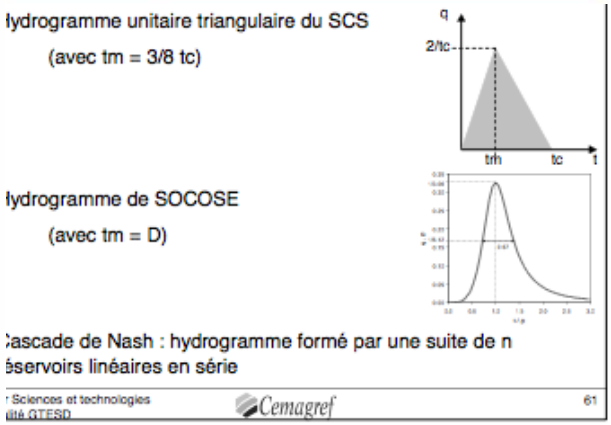
# Cycle moyen de l'eau?

« stationnarity is dead ! »

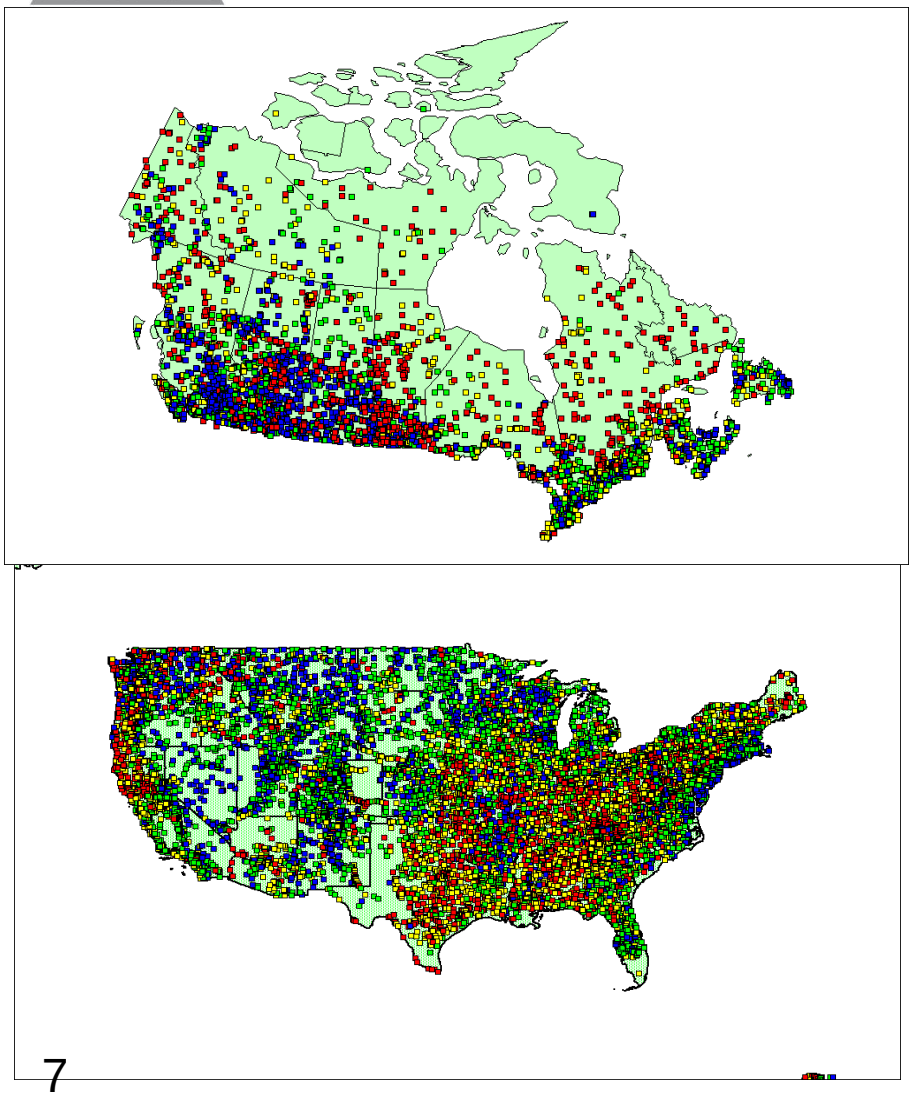


# Multifractal analysis of the USGS data base: T=100 years

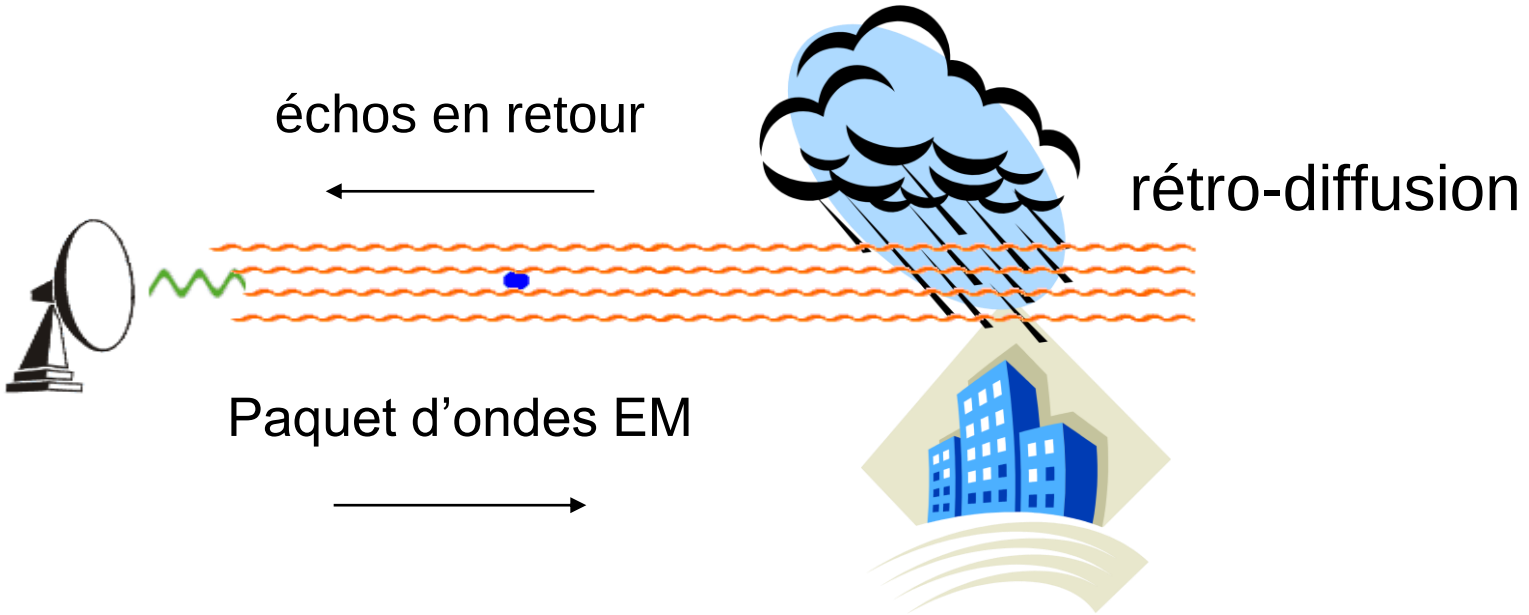


Discharges corresponding to 100 year return period

for Canada:
>1000 (~23%, red);
300-1000 (~16%, yellow);
50-300 (~26%, green);
<50 (~35%, blue)

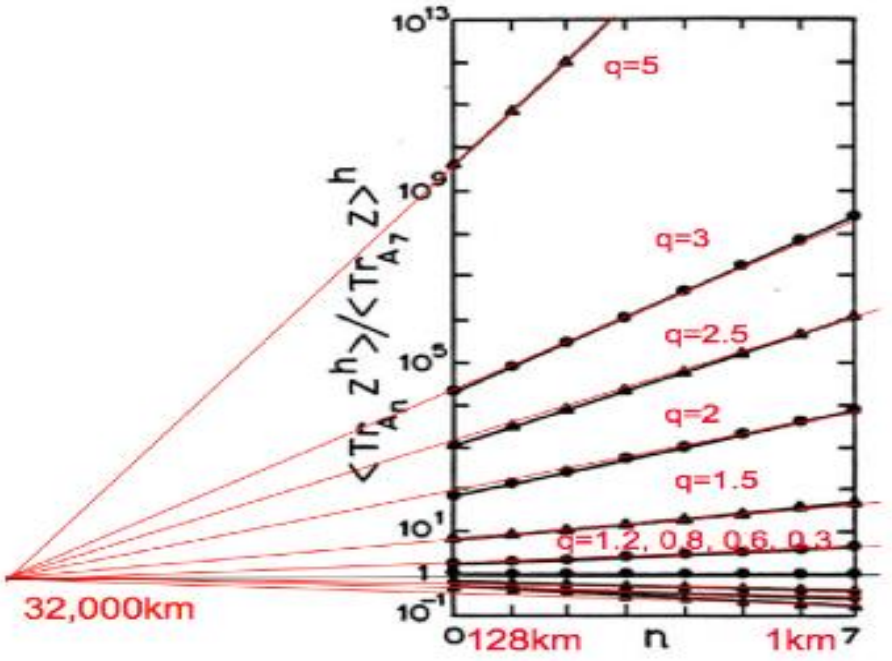
for US:
>30000 (~18%, red);
8000-30000 (~27%, yellow); 1000-8000 (~36%, green);
<1000 (~19%, blue)

# Principe du radar



# Precipitation outer scale?

Marshall radar observatory, McGill U.

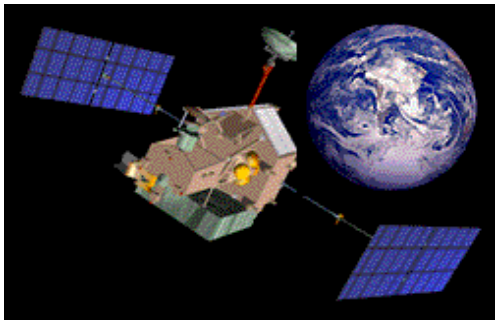


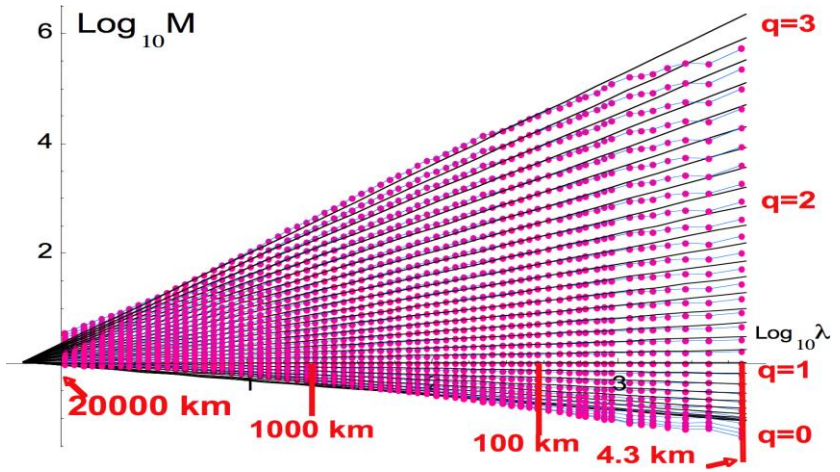

Log-log plot of the statistical moments $<Z_l^q>$ of the radar reflectivity ($Z$) at the height of 3km over 3 weeks; $l$=1km; 128 km

(S-band radar, 0.96° angular resolution)

S&L, JGR, 1987

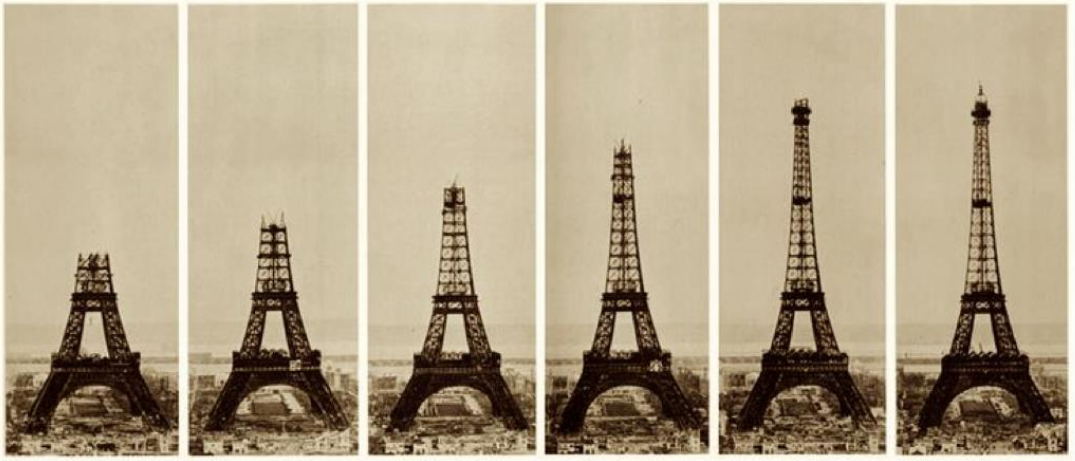
Precipitation outer scale and TRMM






L & al., 2008

1889



2014

© Rosa Vicari / École des Ponts ParisTech

Rain Gain

**Monday 8th / Tuesday 9th June**

École des Ponts ParisTech

Investing in Opportunities

This project has received European Regional Development Funding through INTERREG IV B.

nwe

INTERREG IVB

# RAINGAIN CONFERENCE

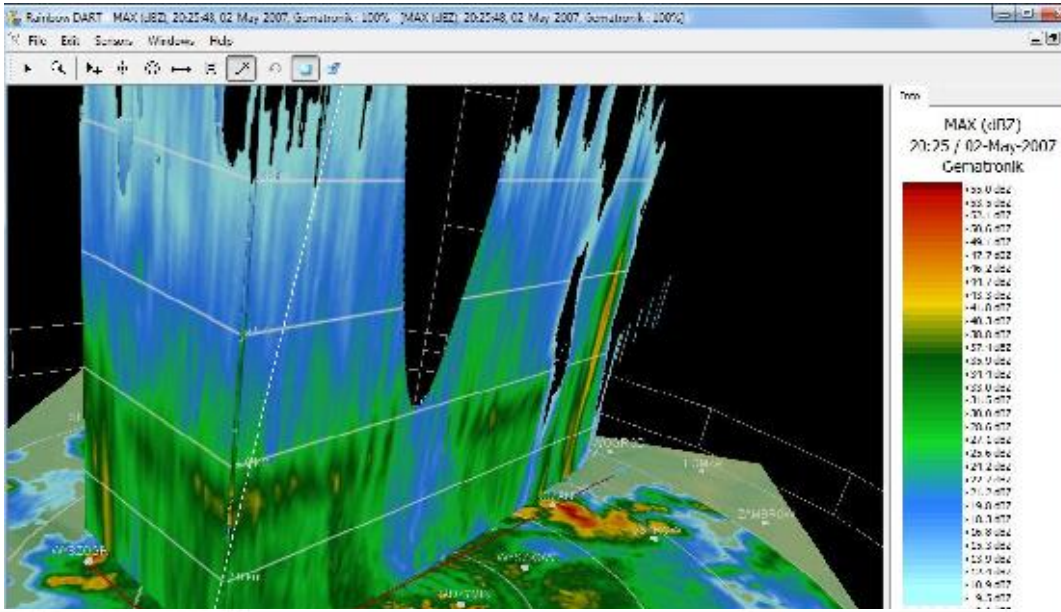
## "RESEARCHERS & WATER MANAGERS PREPARING CITIES FOR A CHANGING CLIMATE"

### IN THE FRAMEWORK OF THE COP21 PREPARATION

# COP21-RainGain

# ENPC radar

Implemented on Bienvenüe building of Descartes Campus, Marne-la-Vallée

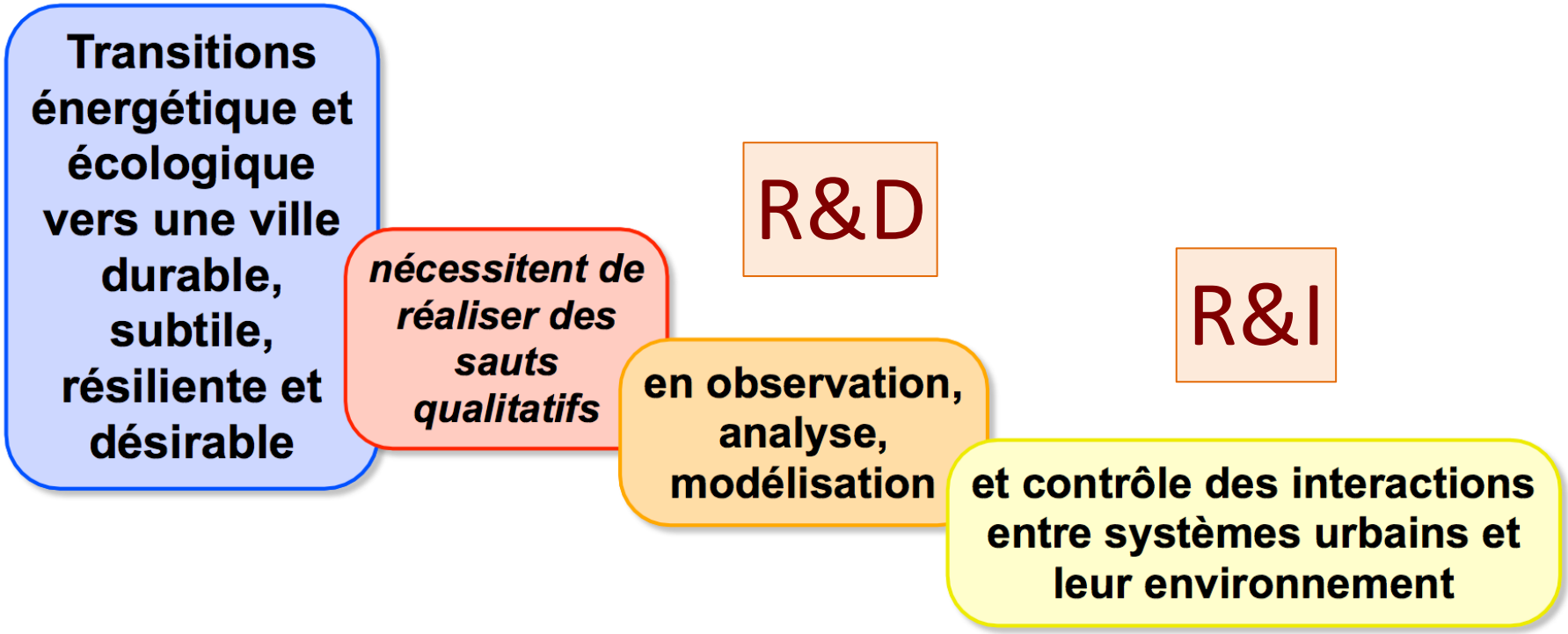


| | |
|---|---|
| Operating Frequency Range | 9.36 – 9.38 GHz or 9.30 – 9.35 GHz |
| Peak Power (at Magnetron Output) | 100 KW |
| Beam Width (1.8m standard) | 1.3° |
| Antenna Gain | 42.5, dB |
| Pulse Modes | 4 |
| Pulse Width (PW), configurable | 0,33 – 2.0 µs or |
| Range Resolution @ Short Pulse | 50 - 500 m |
| Pulse Repetition Frequency (PRF) | 250 – 2500 Hz |
| Operational Range | 100 km |
| Maximum Unambiguous Velocity @ 5:4 | +/- 80 m/s |
| MDS @ Long Pulse | -113 dBm |
| Sensitivity (dBZ) @ LP& 100km | ~ -11 dBZ |

# HM&Co: Grandes Étapes (rétrospective)

Thématique Météorologie Hydrologie et Multiplicité d'Échelles (MHYM) crée en 2003

- Collaboration entre ENPC et Météo-France, élargie dans le cadre du PNRH du CNRS
- Préfiguration de thèmes de la COP21 et de HM&Co



# HM&Co: Axes scientifique

- **Variabilité multiéchelle (systèmes et environnements complexes):** observation/ analyse/ simulation

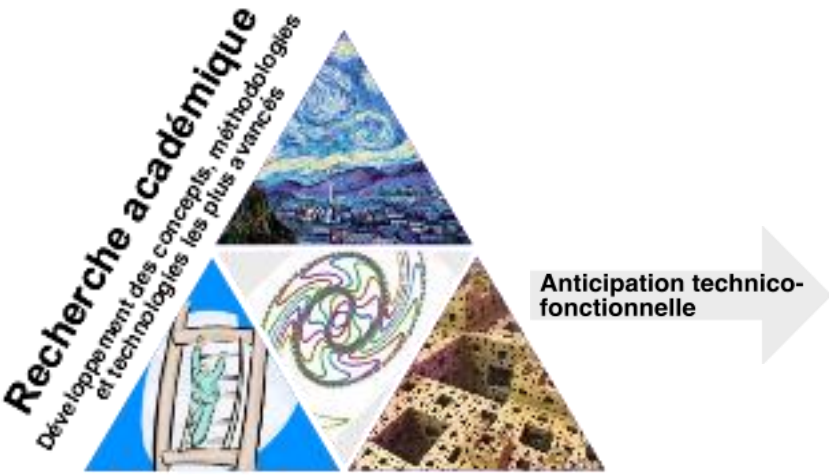
- **Plateforme numérique d'envergue :** radar X/ lidar/ …/ réseaux disdromètres/ hybridation de modélisation physique déterministe & stochastique/ visualisation/ *HPC*

- **Résilience d'environnement urbain :** scénarisation & optimisation/ systèmes d'alertes & communication participative

# Perspectives 2016-2020

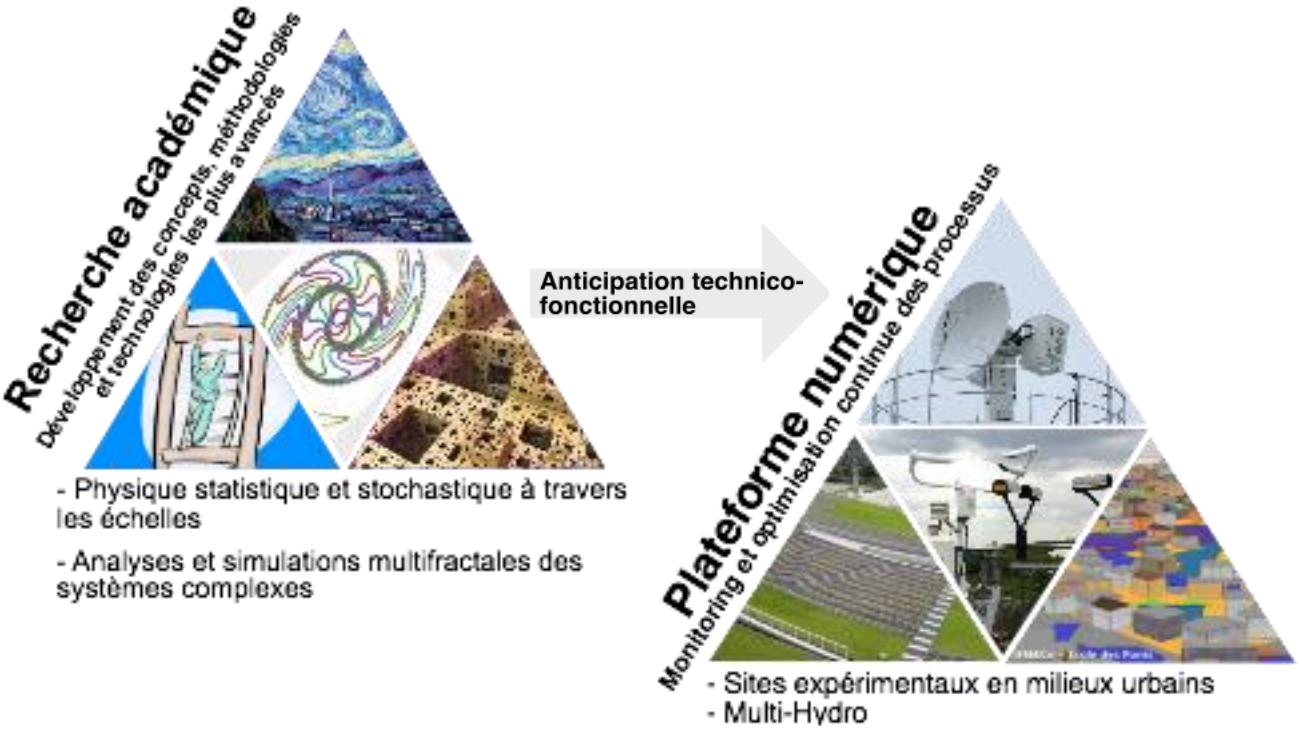
- Physique statistique et stochastique à travers les échelles
- Analyses et simulations multifractales des systèmes complexes

# Perspectives 2016-2020




- Physique statistique et stochastique à travers les échelles
- Analyses et simulations multifractales des systèmes complexes

# Perspectives 2016-2020

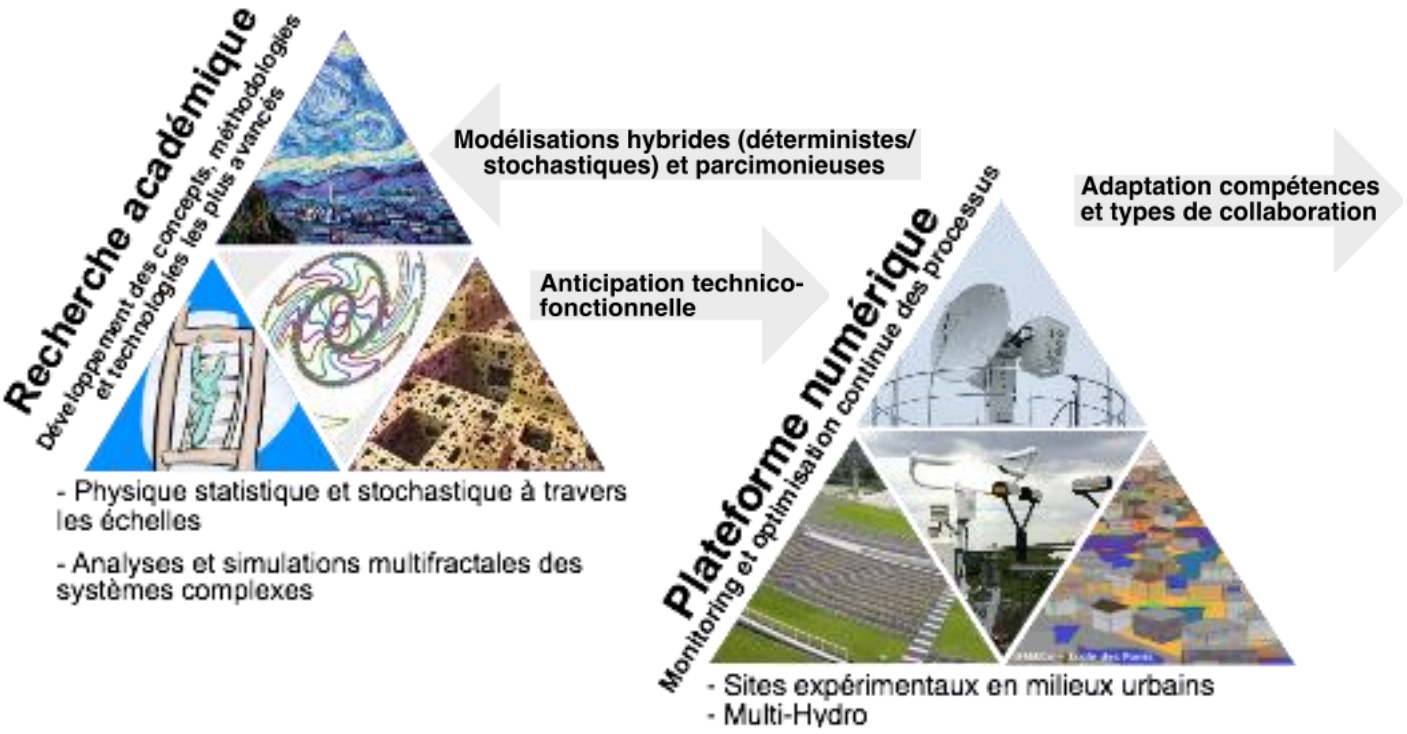



- Physique statistique et stochastique à travers les échelles
- Analyses et simulations multifractales des systèmes complexes

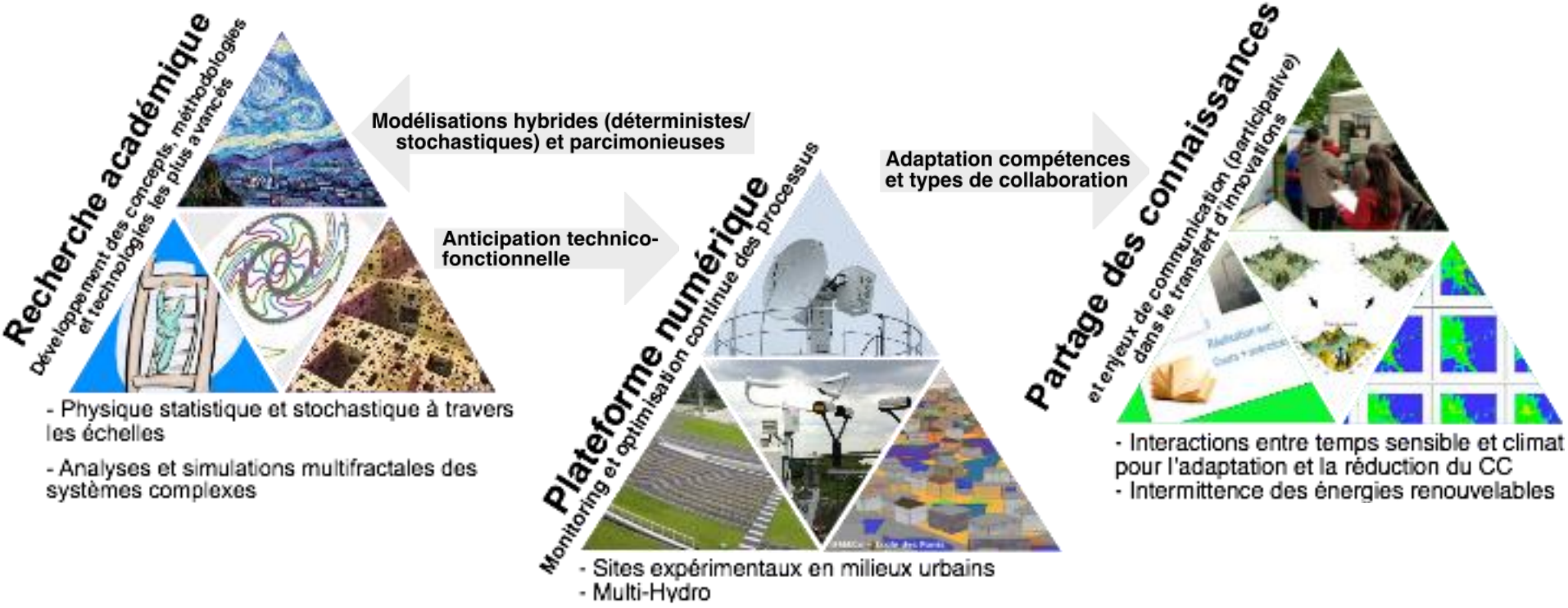
- Sites expérimentaux en milieux urbains
- Multi-Hydro

# Perspectives 2016-2020

# Perspectives 2016-2020



# Perspectives 2016-2020



# Perspectives 2016-2020

Interactions entre les composantes physico-environnementales et socio-économiques

**Recherche académique**

Développement des concepts, méthodologies et technologies les plus avancés

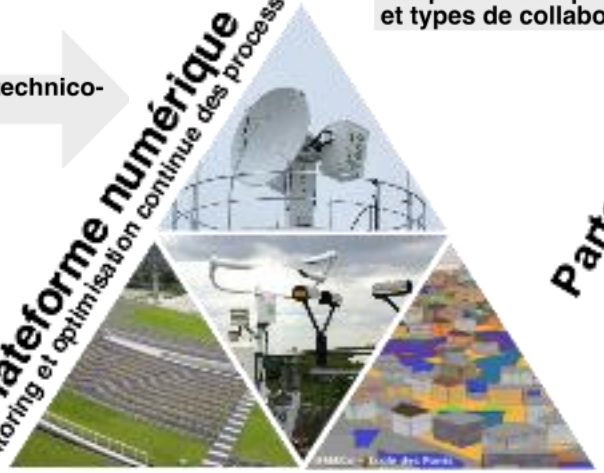
- Physique statistique et stochastique à travers les échelles
- Analyses et simulations multifractales des systèmes complexes

Modélisations hybrides (déterministes/ stochastiques) et parcimonieuses

Anticipation technico-fonctionnelle

**Plateforme numérique**

Monitoring et optimisation continue des processus

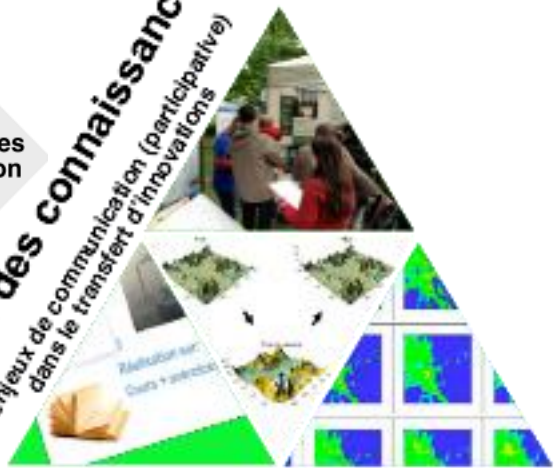


- Sites expérimentaux en milieux urbains
- Multi-Hydro

Adaptation compétences et types de collaboration

**Partage des connaissances**

et enjeux de communication (participative) dans le transfert d'innovations



- Interactions entre temps sensible et climat pour l'adaptation et la réduction du CC
- Intermittence des énergies renouvelables

# Plateforme TARANIS (exTreme and multi-scAle RAiNdrop parIS)

Outils / concepts HM&Co

## La microphysique au service de la mesure des précipitations

*Gires et al., HSJ ,2015*

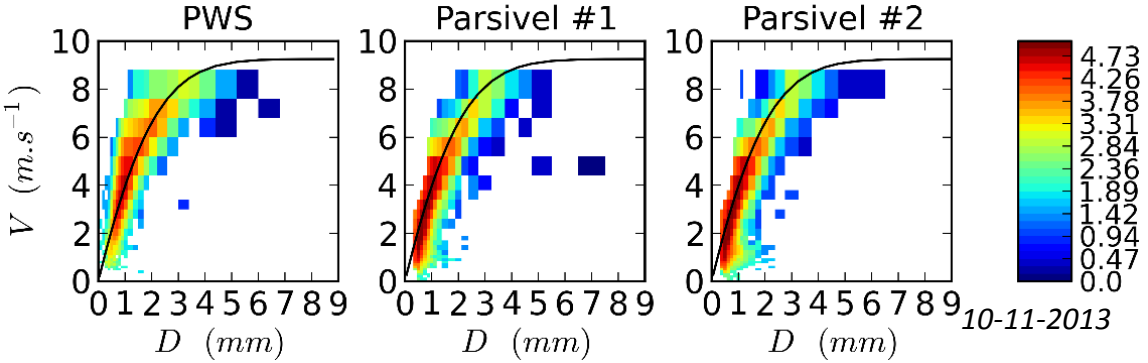
**Un observatoire**

*Trois instruments (PWS100 and Parsivel²) de deux constructeurs*

**Développements instrumentaux:**
- Amélioration existant (disdromètre, contribution algorithmes radar)
- Créations

**Développements méthodologiques:**
- Un changement vers une mesure probabiliste
- DSD à grandes échelles spatio-temporelles

**Vitesse et tailles des gouttes**




**Applications** (nv produits, instruments)

# Plateforme TARANIS

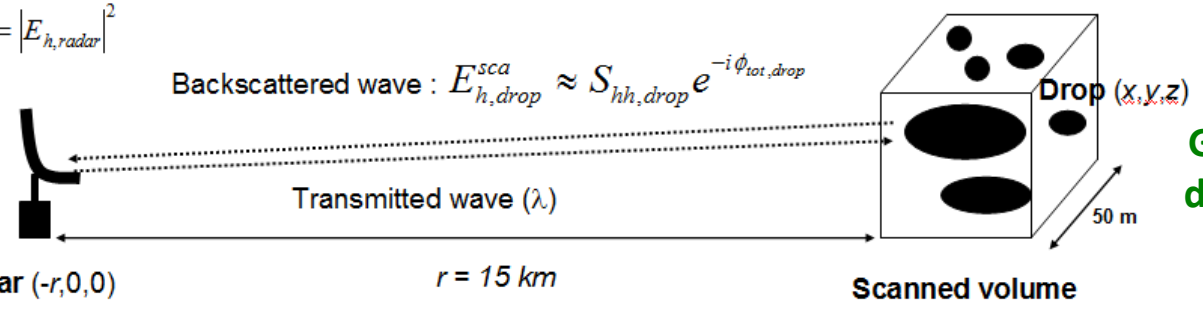
# Reproduction de la mesure radar à petites échelles

$$E_{h,radar} = \sum_{drops} E^{sca}_{h,drop}$$

$$I_{h,radar} = \left| E_{h,radar} \right|^2$$

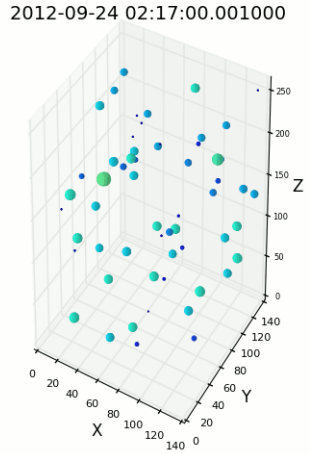
$$\phi_{tot,drop} = \frac{2\pi\delta_{drop}}{\lambda}$$

$$\delta_{drop} = 2\sqrt{(x+r)^2 + y^2 + z^2}$$

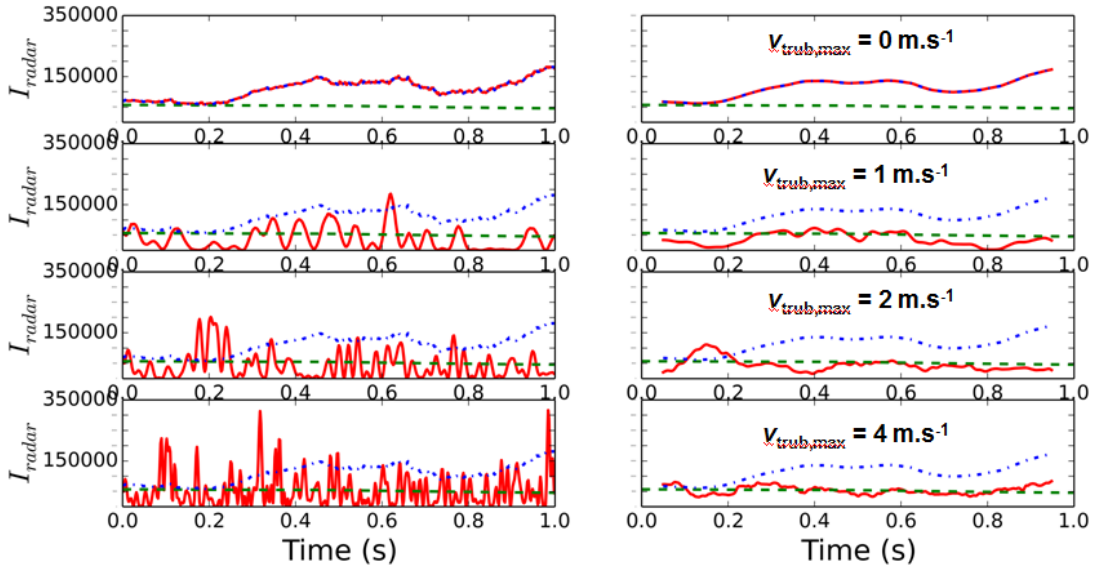



**Génération d'un champ 3+1D de gouttes**

2DVD data from ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE




## Etude d'un volume de 50 x 50 x 50 m³ :




Quelques résultats :

- Distribution exp. de $I_h$ par rapport à la position des gouttes
- $I_{hv}$ moins sensible
- Nécessité de prendre en compte la turbulence

*Gires et al., Atm. Res. ,2016*

**Développements futurs:**

- Géométrie radar,
- $K_{dp}$, Atténuation
- Retour sur les relations radar
- Mesures probabilistes

# 1- CAS DU SITE PILOTE DE LA HAUTE VALLEE DE LA BIEVRE

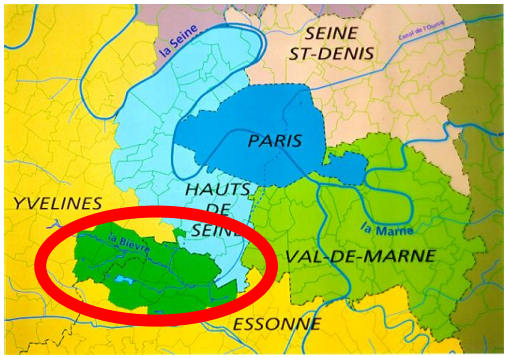
## 1.1- Description du territoire

### Une longue et fructueuse collaboration entre Veolia & SIAVB

Depuis 1991, mise en œuvre, exploitation et maintenance du système de régulation hydraulique dynamique de la Haute Vallée de la Bièvre.

### Le Syndicat Intercommunal pour l'Assainissement de la Vallée de la Bièvre (SIAVB)

- Au sud de Paris.
- 14 communes adhérentes et 1 communauté d'agglomération.
- Au carrefour de 3 départements : Essonne, Yvelines, Hauts-de-Seine.
- Plusieurs missions : collecte des eaux usées ; entretien, préservation et mise en valeur de la rivière Bièvre et de ses affluents ; lutte contre les inondations




### La rivière Bièvre, un peu d'histoire

**Jusqu'au début du 20è siècle :**

Scan d'une carte de Paris issue du guide Paris-Diamant, Alfred Joanne, Collection des guides Joanne, Hachette, Paris, 1867

Tannerie proche de la rivière Bièvre. Fin du 19è siècle. Photo Charles Marville.

Carte postale. Scannée par Claude Shoshany. La rivière Bièvre. Début du 20è siècle.

**De nos jours :**

- 33 km dont 18 km à ciel ouvert depuis Saint-Quentin-en-Yvelines jusqu'à Antony.
- Canalisée à l'aval d'Antony dans le réseau du SIAAP avec un débit limité à 12 $m^3/s$ par convention.

Image : ©Mbzt

Image : ©Panerai





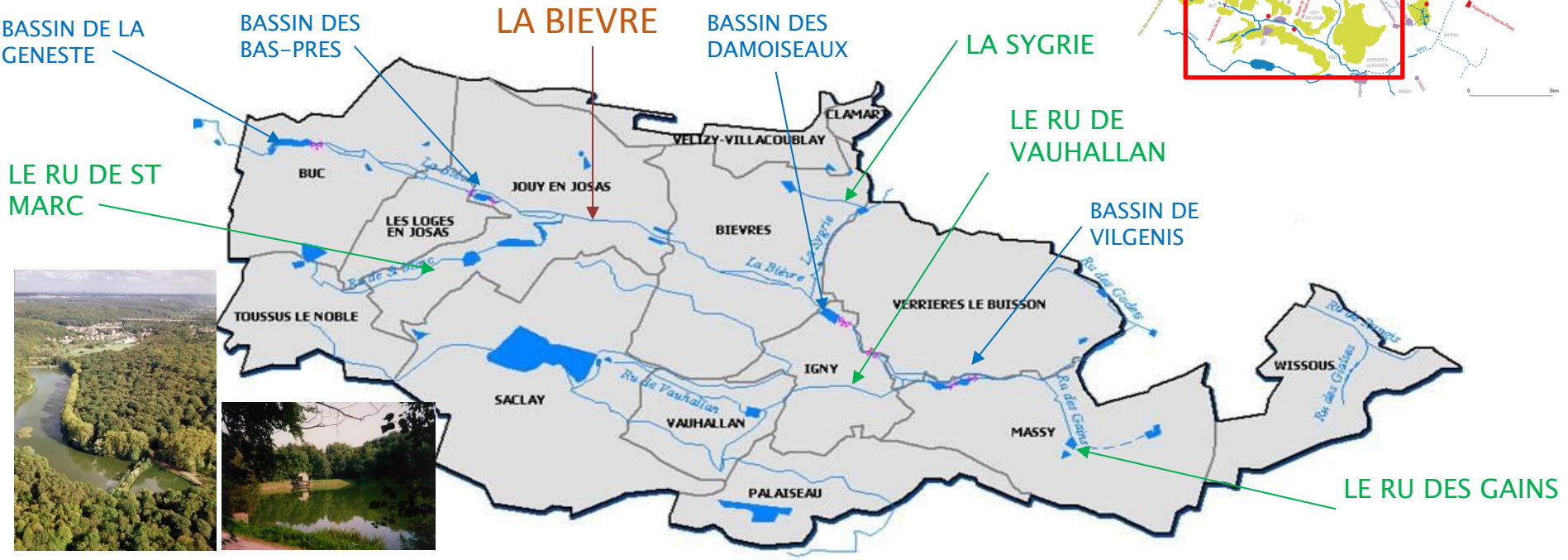

Image : ©Mbzt

# 1- CAS DU SITE PILOTE DE LA HAUTE VALLEE DE LA BIEVRE

## 1.1- Description du territoire

### La Haute Vallée de la Bièvre et le SIAVB aujourd'hui

18 km (Bièvre) + 15 km d'affluents ; 110 km² pour 130 000 habitants.
**10 bassins principaux de stockage (550 000 m³)**, dont 4 sur le cours principal de la Bièvre.








### Des inondations à caractère catastrophique en 1973 et 1982

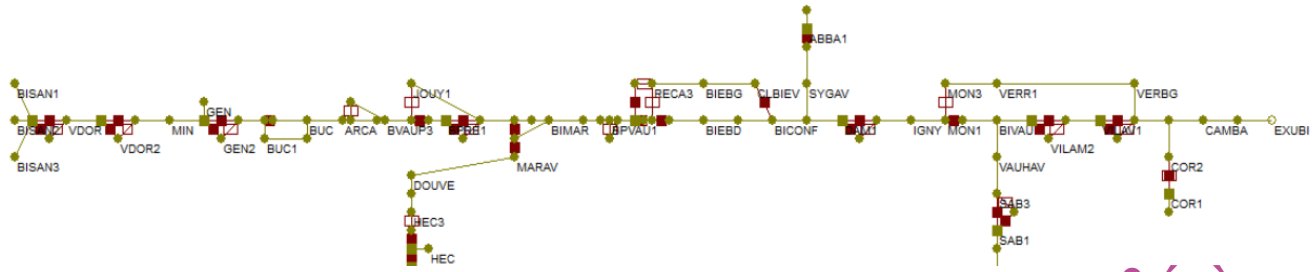
- Les 21 & 22 juillet 1982 :
  **110 mm en 3 heures dont 80 mm en 40 minutes,**
  10 millions de m³ d'eau ruisselés,
  2 millions de m³ d'eau évacués vers l'aval,
  500 000 m³ stockés dans les bassins
  **soit 7,5 millions de m³ qui ont envahi la vallée.**

# 2- CAS DU SITE PILOTE DE LA HAUTE VALLEE DE LA BIEVRE

## 2.1- Méthodologie mise en œuvre

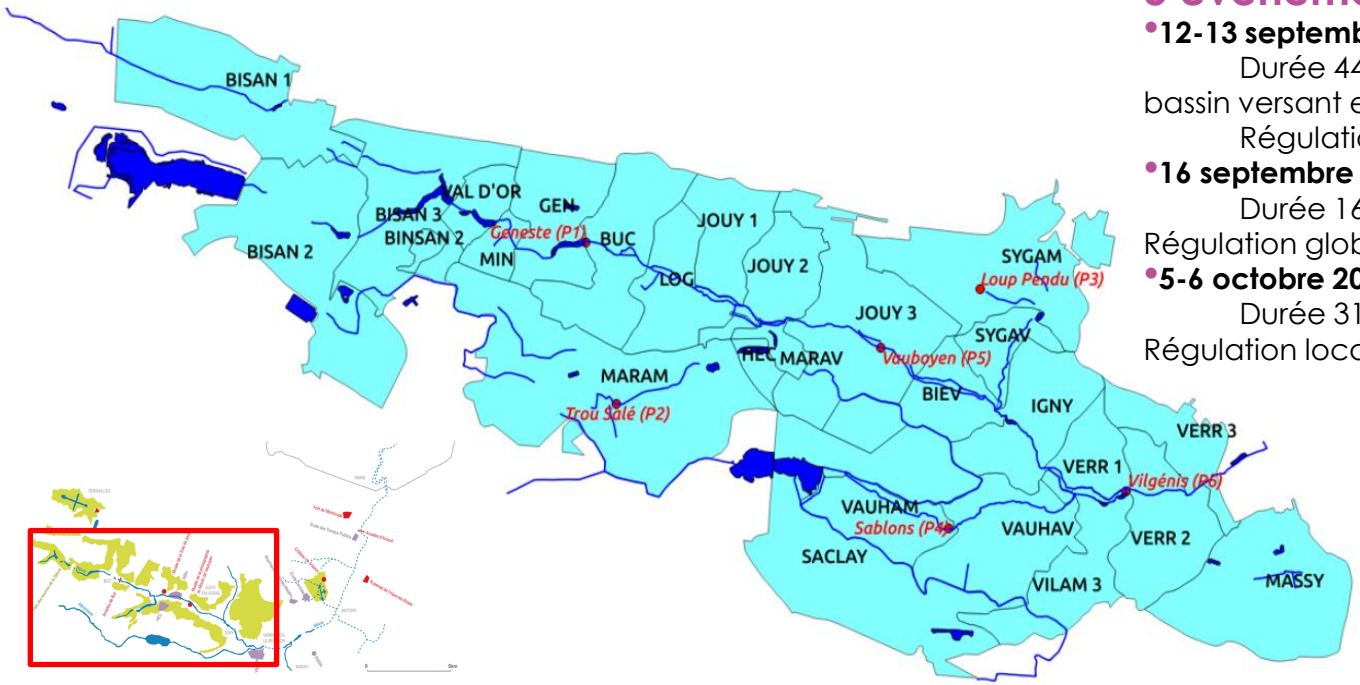
### Le fonctionnement hydraulique de la Haute Vallée de la Bièvre modélisé

- Modèle hydraulique détaillé construit sous Infoworks CS.
- Réactualisé, calé et validé pour la dernière fois en 2012.
- Régulations hydrauliques locales modélisées mais pas la régulation hydraulique globale.




### Le modèle

- 20 sous-bassins versants.
- 97 nœuds dont 14 stockages.
- 69 conduites.




### 3 évènements pluvieux différents

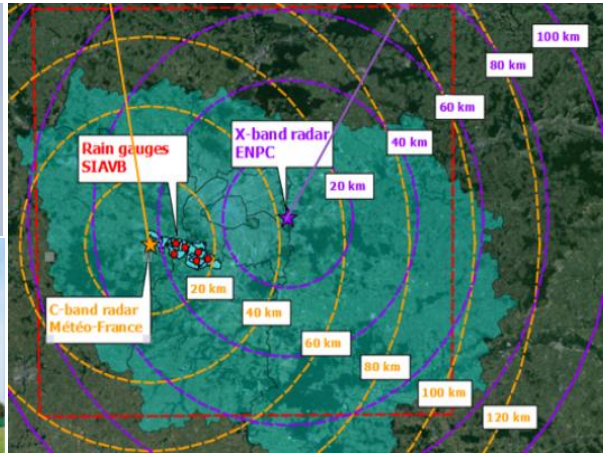
- **12-13 septembre 2015** :
  Durée 44 h, cumul total 23 à 49 mm selon le bassin versant et la source de données.
  Régulation globale.
- **16 septembre 2015 :**
  Durée 16,8 h, cumul total 12 à 21 mm.
  Régulation globale.
- **5-6 octobre 2015 :**
  Durée 31 h, cumul total 18 à 35 mm.
  Régulation locale.

# 3- CAS DU SITE PILOTE DE LA HAUTE VALLEE DE LA BIEVRE

## 3.1- Objectifs

### 3 sources de données pluviométriques différentes

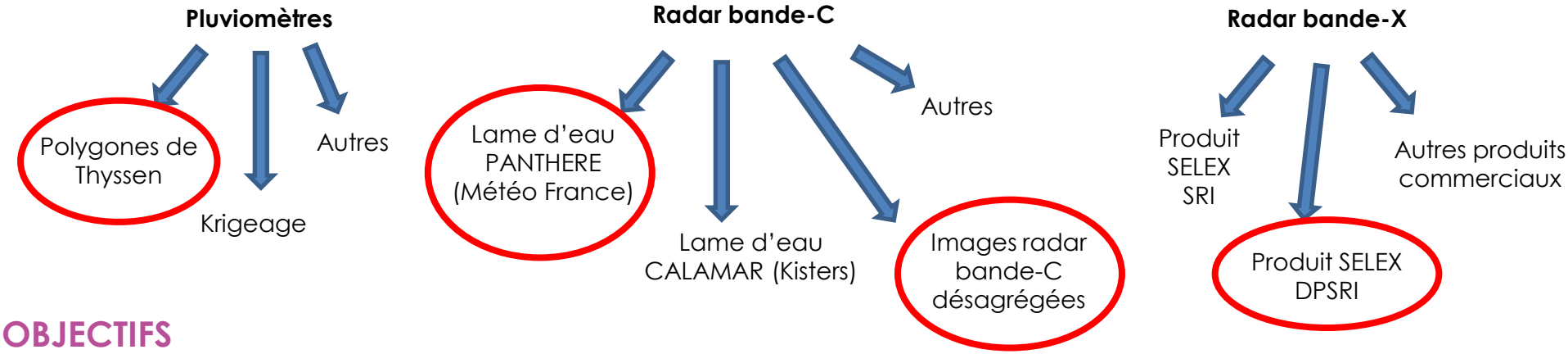
- Des pluviographes au sol.
- Le radar bande-C Météo France de Trappes (~ 20 km).
- Le radar bande-X localisé sur le toit de l'ENPC (~ 40 km).




### 3 évènements pluvieux différents

- 12-13 septembre 2015.
- 16 septembre 2015.
- 5-6 octobre 2015.

### Sur un territoire, une multitude de traitements possibles des résultats issus des différentes sources de données pluviométriques



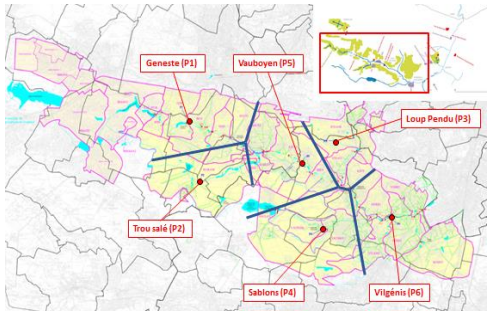

### OBJECTIFS

**1.Comparer qualitativement pour chaque évènement pluvieux les données issus de pluviomètres (traitement par polygones de Thyssen), du radar bande-C (Lame d'eau PANTHERE & données désagrégées) et du radar bande-X (produit SELEX DPSRI).**
**2.Comparer qualitativement l'utilisation de ces différentes données dans un modèle hydraulique pour tenter de comprendre leur influence sur la réponse hydrologique du système.**

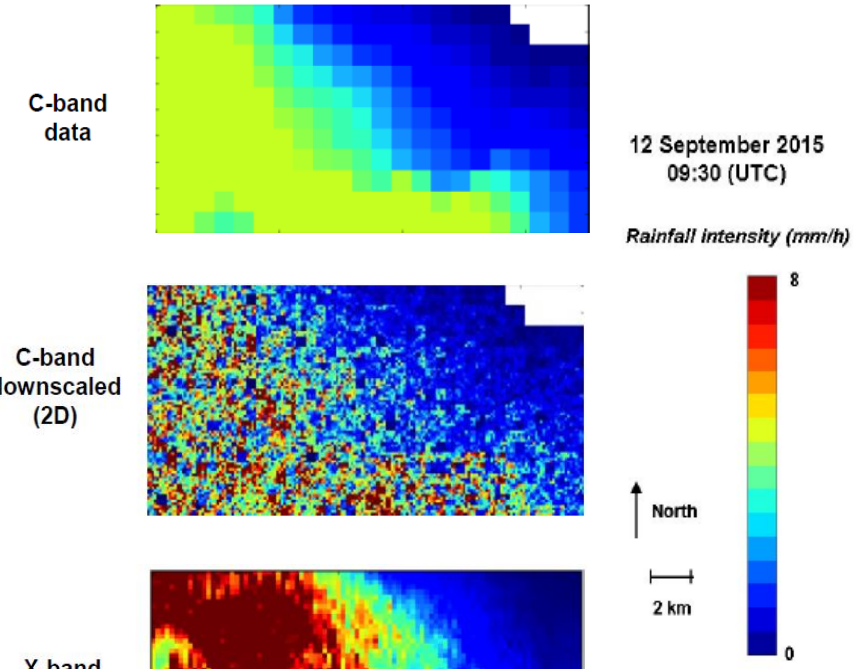
# 3- CAS DU SITE PILOTE DE LA HAUTE VALLEE DE LA BIEVRE

## 3.2- Méthodologie mise en œuvre

### Synthèse des produits météorologiques d'entrée




- **Pluviographes :**
  - Méthode des polygones de Thyssen.
  - Résolution spatiale : 6 zones pluviométriques uniformes.
  - Résolution temporelle : 5 min.



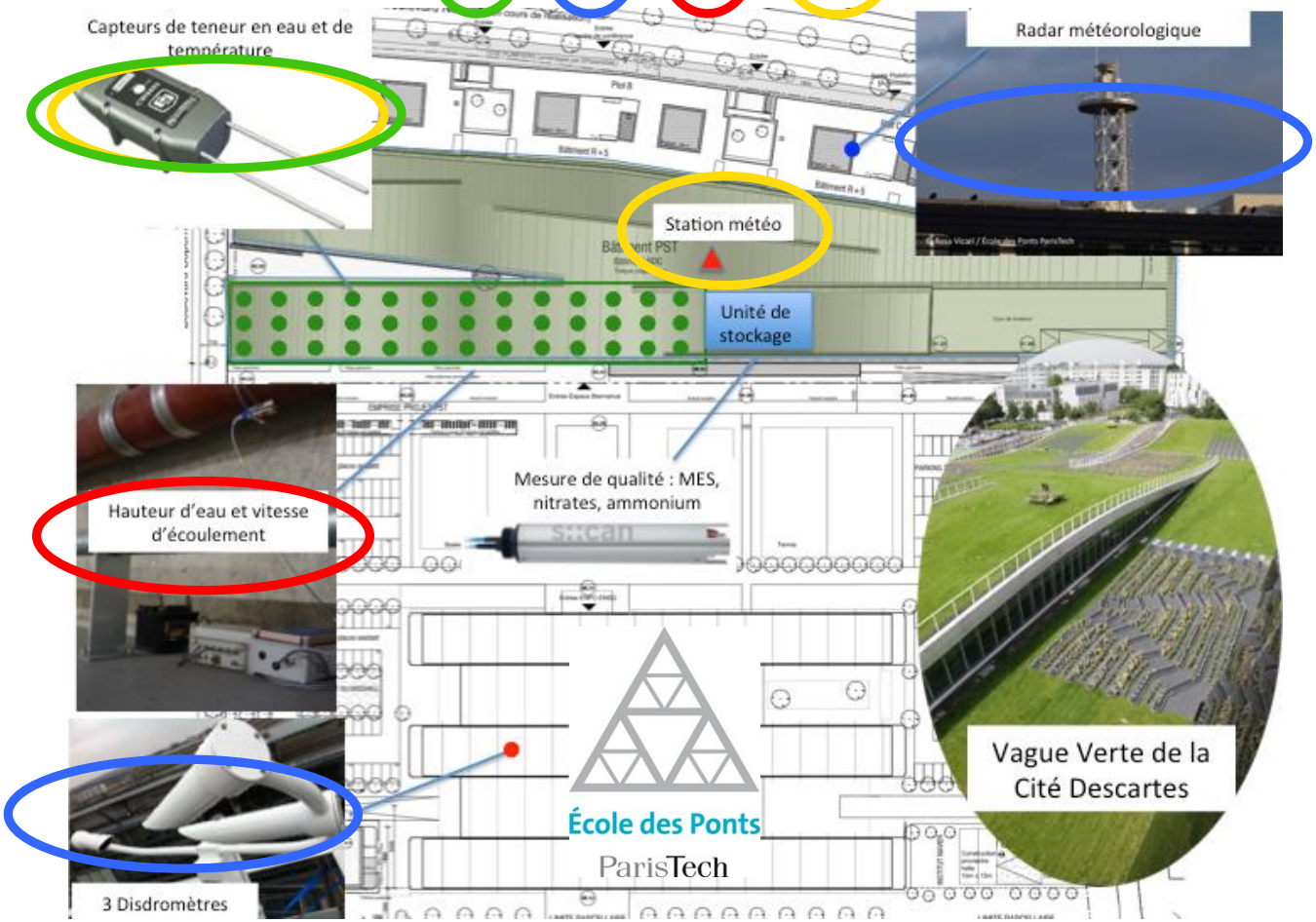

- **Bande-C images Panthère :**
  - Produit radar Météo France calibré avec pluviographes.
  - Résolution spatiale : 1000 x 1000 m².
  - Résolution temporelle : 5 min.

- **Bande-C désagrégé :**
  - Méthode de traitement stochastique multi fractale permettant d'affiner mathématiquement les résolutions spatiales et temporelles.
  - Résolution spatiale : 125 x 125 m².
  - Résolution temporelle : 5 min.

- **Bande-X produit DPSRI :**
  - Calibration du radar en cours d'optimisation.

# Instrumentation

$R(t) = P(t) - Q(t) - ET(t)$




Modélisation multi-échelles

Multi-Hydro

**Cluster Cité Descartes**

*Thèse(s) CIFRE*

SOPREMA

Caractérisation des substrats

Navier

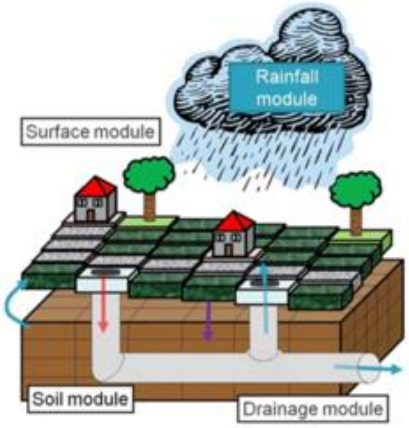
efficacity

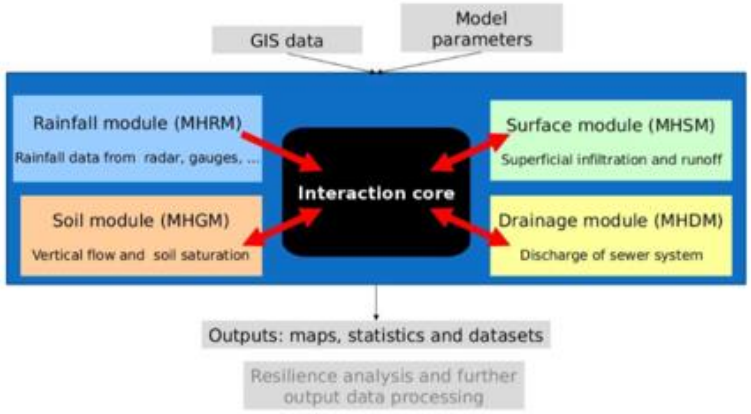
sense CITY

CSTB
le futur en construction

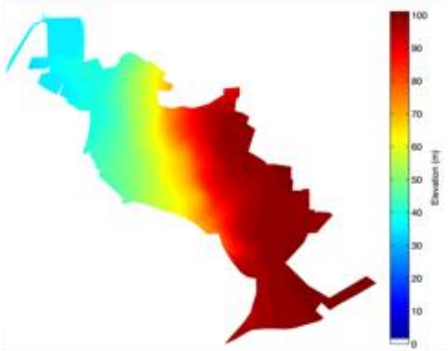
THE FRAMEWORK PROGRAMME FOR RESEARCH AND INNOVATION
HORIZON 2020

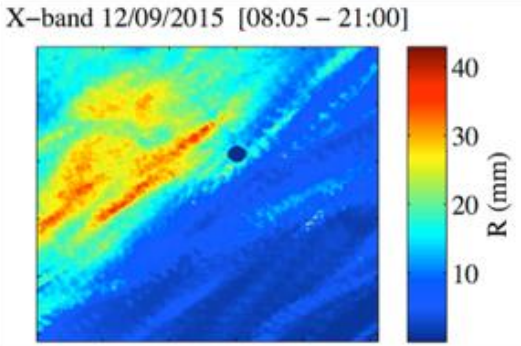
# Modélisation hydrologique
# La plateforme Multi-Hydro



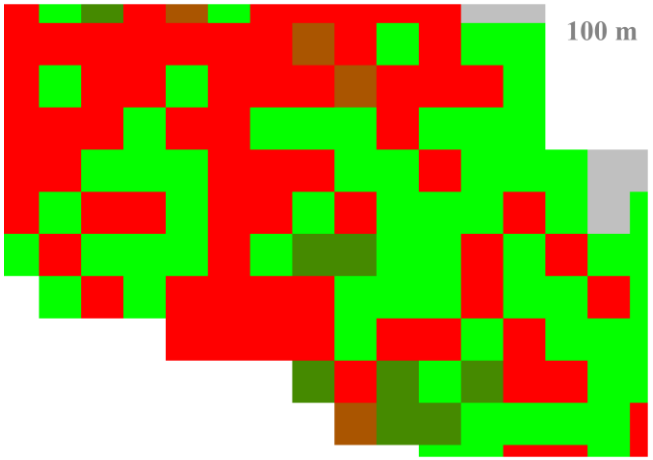




- Prise en compte totale de la variabilité des milieux urbains et celle de la pluie

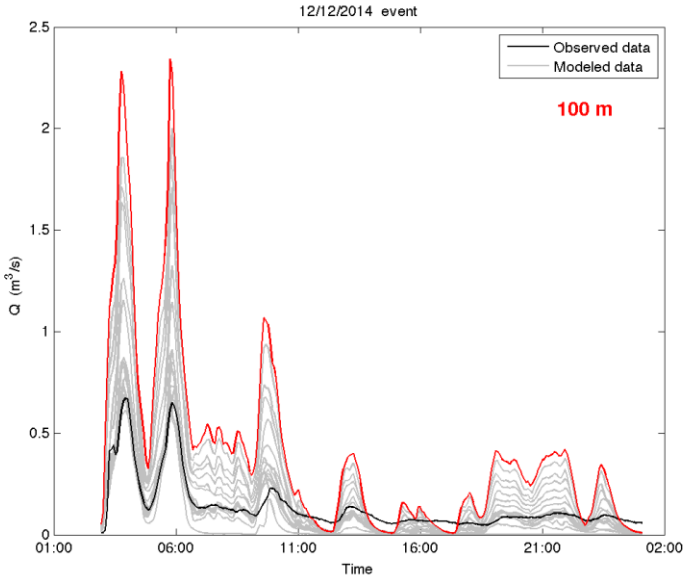




# Modélisation hydrologique
# La plateforme Multi-Hydro




Une modélisation multi-échelle




- analyser les phénomènes à l'échelle appropriée
- Imaginer les solutions de gestion à l'échelle locale (quartier, rue,…)

# Modélisation hydrologique
# La plateforme Multi-Hydro

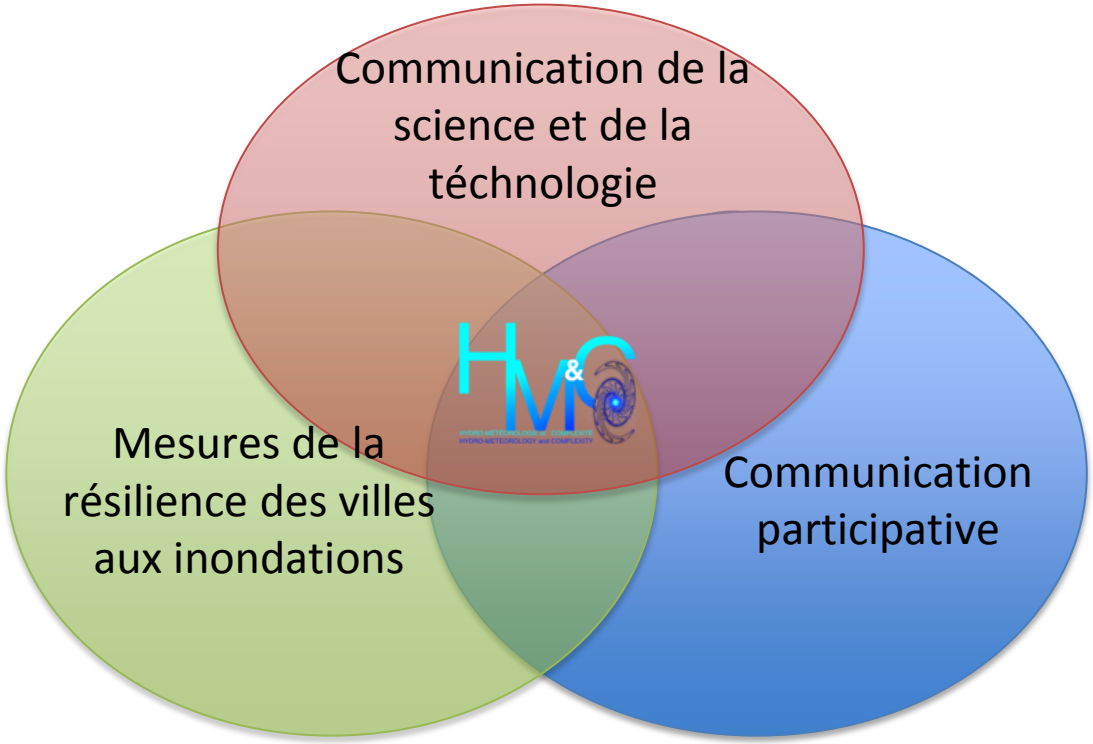
- Un outil de visualisation 3D est en cours de développement :

sensibiliser au risque inondation
&
optimiser les mesures de résilience

- Des collaborations nationales et internationales

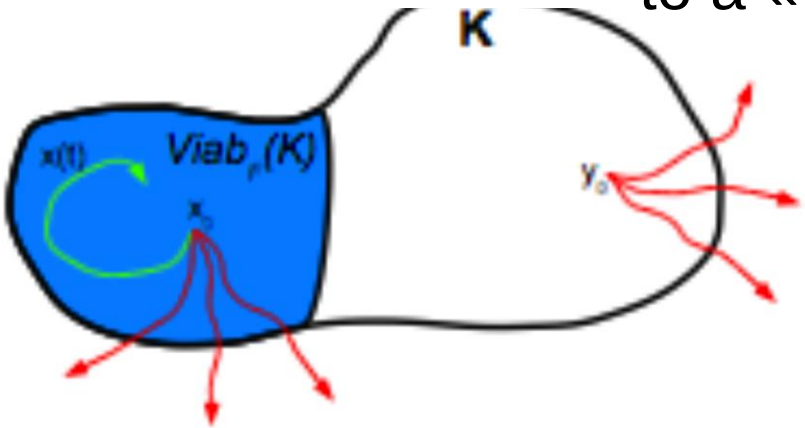
- *Il y a un grand potentiel qui reste inexploité, la raison est que jusqu'à présent les services climatiques ont principalement été conçus sur la base du point vue des fournisseurs. Ce problème concerne également les organisme de météorologie. Une transition vers une approche axée sur les utilisateurs est indispensable, de sorte que l'engagement avec les bénéficiaires finaux devienne la base du développement de ces services*. Intervention de A. Tilche (Head of the Unit "Climate Action and Earth Observation" in DG Research & Innovation, at the European Commission) lors de la Conférence COP21 RainGain (ENPC, 8-9/06/16 http://www.raingain.eu/en/8-9-june-2015-raingain-final-conference-paris )

- Selon l'Eurobaromètre la majorité des citoyens européens n'ont pas une bonne connaissance des inondation et ont tendance à sous-estimer le risque d'inondation. Selon le même rapport: *73% des répondants pense que l'UE devrait proposer des mesures additionnelles pour faire face aux problèmes environnementaux liés à l'eau, et la moitié d'entre eux souhaiterait pouvoir exprimer son point de vue sur ces mesures.* (EU, Flash Eurobarometer 344, 2012)



# Risks, Resilience …Viability

Resilience ≈ capacity to (quickly) come back to a « functional» state?




Viability (Aubin,1991):

K = {viable states}

$$x(t)/dt \in F(x(t)) = \begin{cases} \varphi(x(t),u(t)) & (action) \\ u(t) \in U(x(t)) & (rétroaction) \end{cases} a.s.$$

*F* « correspondence », more general than a dynamical system, $u(t)$ control

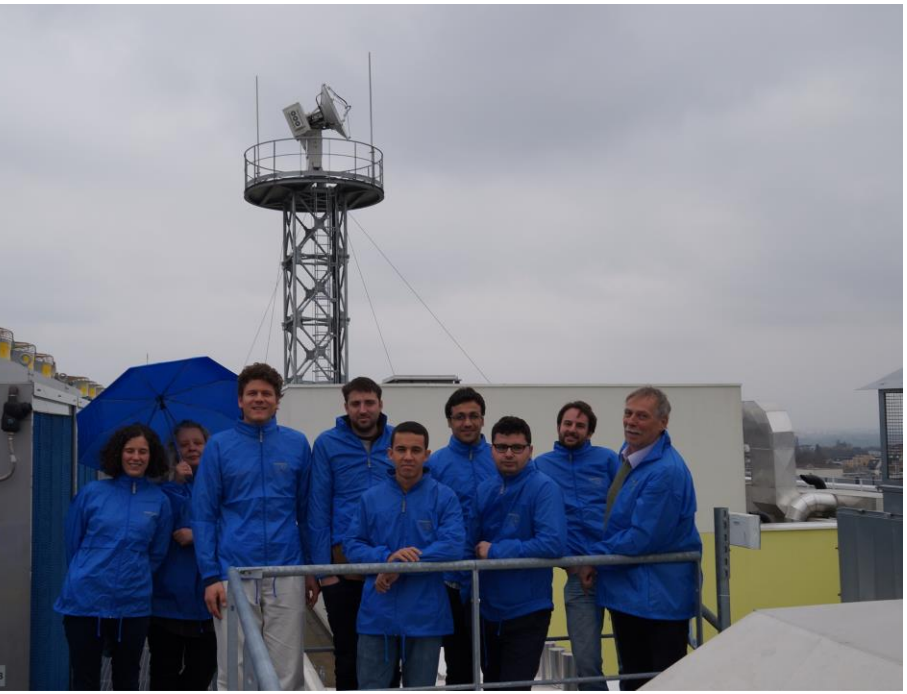
Viability kernel: subset of K such each point has at least a viable trajectory (with given director) :

$x_0$ *viable* :

$$Viab_F(K) = \{x_0 \in K \mid \exists x(t) : x(0) = x_0, \forall t > 0 : x(t) \in K\}$$

**…what about scales ?**

# Développer la résilience



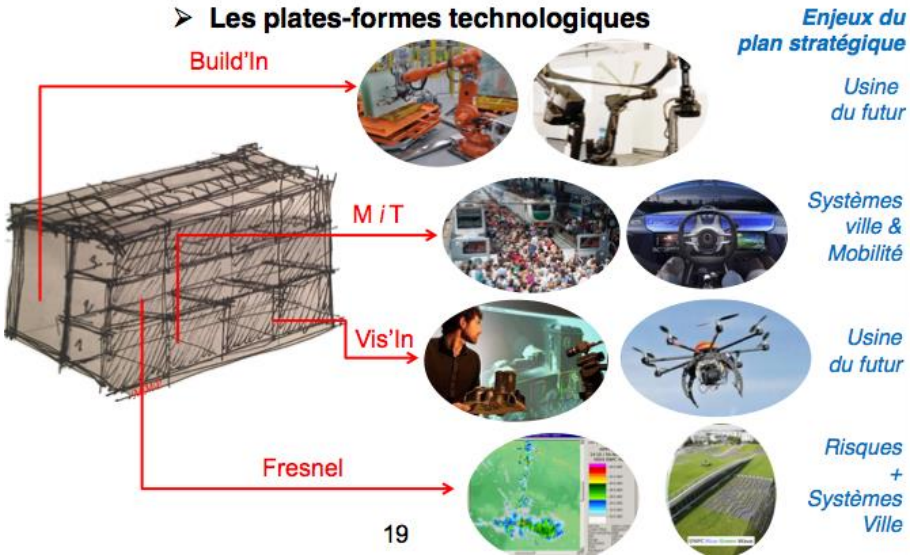
www.enpc.fr www.raingain.eu

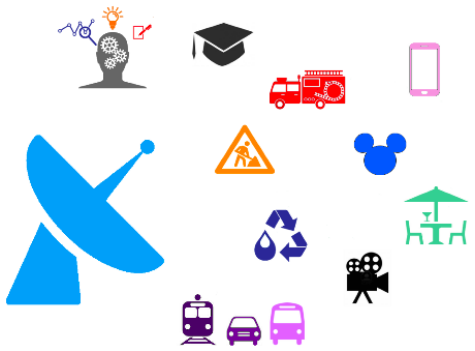
- **Variabilité multiéchelle (systèmes et environnements complexes):** observation/ analyse/ simulation
- **Plateforme numérique d'envergue :** radar X/ lidar/ …/ réseaux disdromètres/ hybridation de modélisation physique déterministe & stochastique/ visualisation/ *HPC*
- **Résilience d'environnement urbain :** scénarisation & optimisation/ systèmes d'alertes & communication participative

# ENPC Co-Innovation Lab

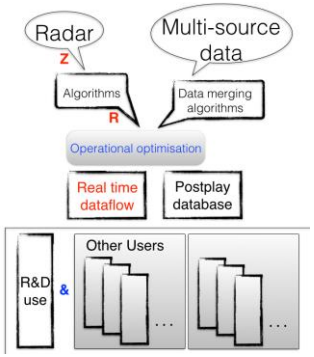
**Fresnel platform: multiscale observation and complex system modelling for urban environment R&I**

## 4 technological platforms



Stronger social impacts




hmco.enpc.fr/Fresnel-Plateform.php