



# Estimation de cartes de précipitations par mesure d'atténuation en bande Ku (10,7 – 12,7 GHz)

*(Utilisation opportuniste des satellites TV-SAT)*

François Mercier, Laurent Barthès, Cécile  
Mallet

**LATMOS/IPSL/UVSQ/CNRS**

Association Régionale Microonde Île de France  
(AREMIF)

Journée « DÉFITS ET PERSPECTIVES » voir et  
surveiller avec les ondes électromagnétiques  
2 juin 2016



# Plan

- Caractéristiques des précipitations
- Les différents systèmes d'observation des précipitations
- Utilisation des satellites TV-SAT (principe)
- Estimation des précipitations à partir d'une liaison unique
- Estimation de cartes de précipitations à partir de plusieurs liaisons
- Conclusion - perspectives

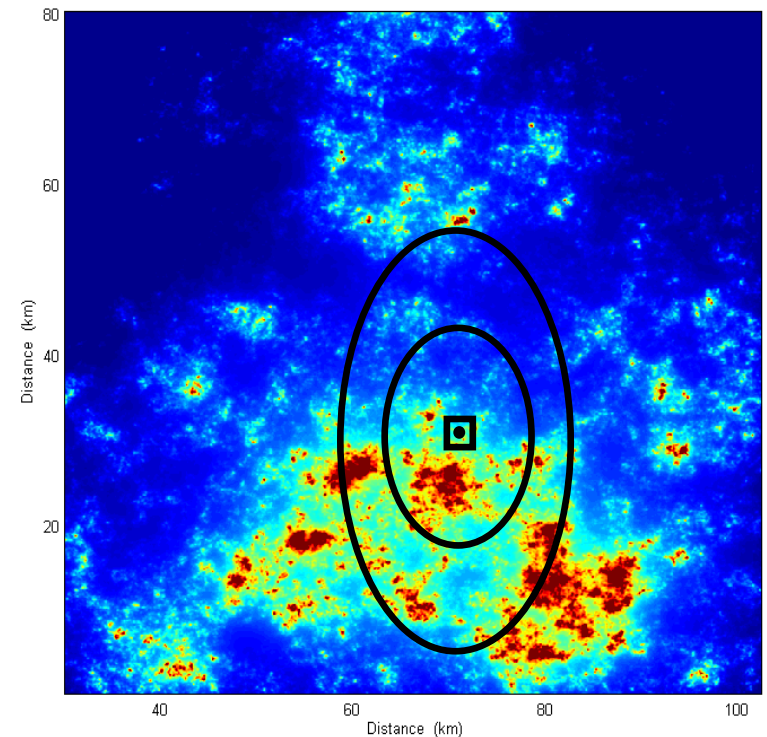
# Contexte

- **Précipitations : Phénomène intermittent caractérisé par une très forte variabilité (comportement multifractal, valeurs extrêmes)**

*(Le 29/09/2014 295 mm à Montpellier et seulement 16 mm à Nîmes )*

- **Observation : forte dépendance de la résolution spatiale et temporelle du système d'observation utilisé**

=> Résolution spatio-temporelle des systèmes d'observation en adéquation avec les échelles caractéristiques des précipitations et de sa dynamique



# Observation des precipitations

Plusieurs échelles d'observation spatio-temporelle (échelle globale, méso échelle, micro physique) & (journée, heure, minute)

	Avantage(s)	Inconvénient(s)
Satellites défilants	TB reliées à l'intensité de pluie (MW) Observations globales, continents + océans	Dilemme résolution spatiale (5-50 km) / répétitivité temporelle (2 à 3 fois par jour) inadaptée à la dynamique des systèmes précipitants. Incertitude très importante
Radars météorologiques	Couverture spatiale 300x300 km <sup>2</sup> Répétitivité 5 min	Incertaince importante. Mauvaise couverture en présence de relief. Coût élevé + entretien
Pluviomètres	Système Simple	Mesure ponctuelle, Système mécanique (entretien). Nbre décroît
Réseaux de pluviomètres	Bonne vision du champ précipitant à petite échelle (si réseaux suffisamment dense)	Nombre élevé de pluviomètres (coût)
<i>Faisceaux Hertiens téléphonie mobile</i>	<i>Infrastructure existante</i>	<i>Dépendance opérateurs téléphonie (choix fréq.)</i>

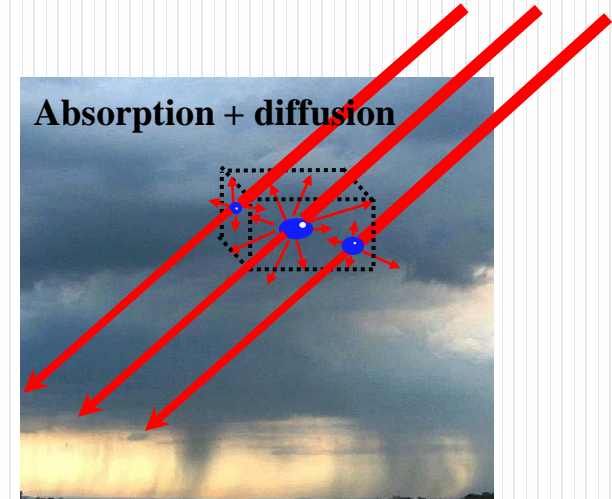
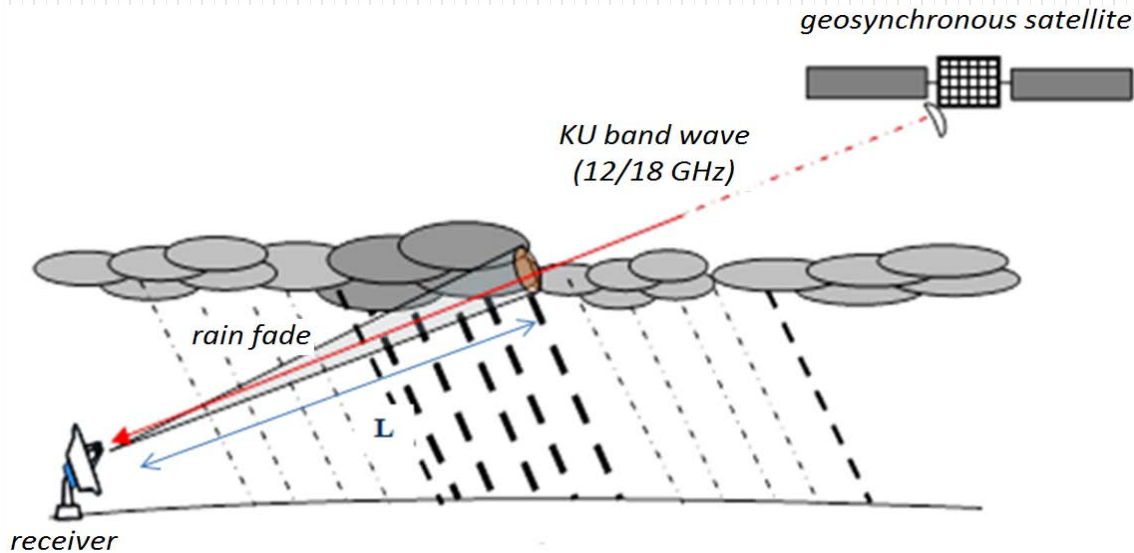
# Un système opportuniste pour l'observation des précipitations

- ✓ Présence importante de satellites commerciaux géostationnaires (>250)
  - ✓ Au-delà de 10 GHz, le signal est fortement affaibli par les précipitations
- => **Sources micro-ondes disponibles et gratuites**

## • Intérêts :

- ✓ Résolution spatiale intermédiaire entre la mesure ponctuelle et le radar météorologique.
- ✓ Faible coût
- ✓ Faible entretien
- ✓ Présence d'antennes TV-SAT sur tous les continents
- ✓ Zones urbaines (capteur intégré à l'équipement TV-SAT)
- ✓ Zones de relief, couverture d'un petit bassins versants à l'aide d'un seul capteur (détection de crues éclairs)

# Principe de la mesure



$$\gamma_f(\mathbf{r}, t) = 4,34 \int_0^{+\infty} N(D, \mathbf{r}, t) \sigma_f(D) dD \quad (\text{dB/m}) \quad R(\mathbf{r}, t) = \frac{\pi}{6} \int_0^{+\infty} N(D, \mathbf{r}, t) D^3 v(D) dD \quad (\text{mm/s})$$

$$A_f(t) = \int_{\text{Trajet}} \gamma_f(r, t) dr \quad (\text{dB})$$

Relation entre le taux de pluie et l'affaiblissement  $\gamma_f = aR^b$  (dB/km)

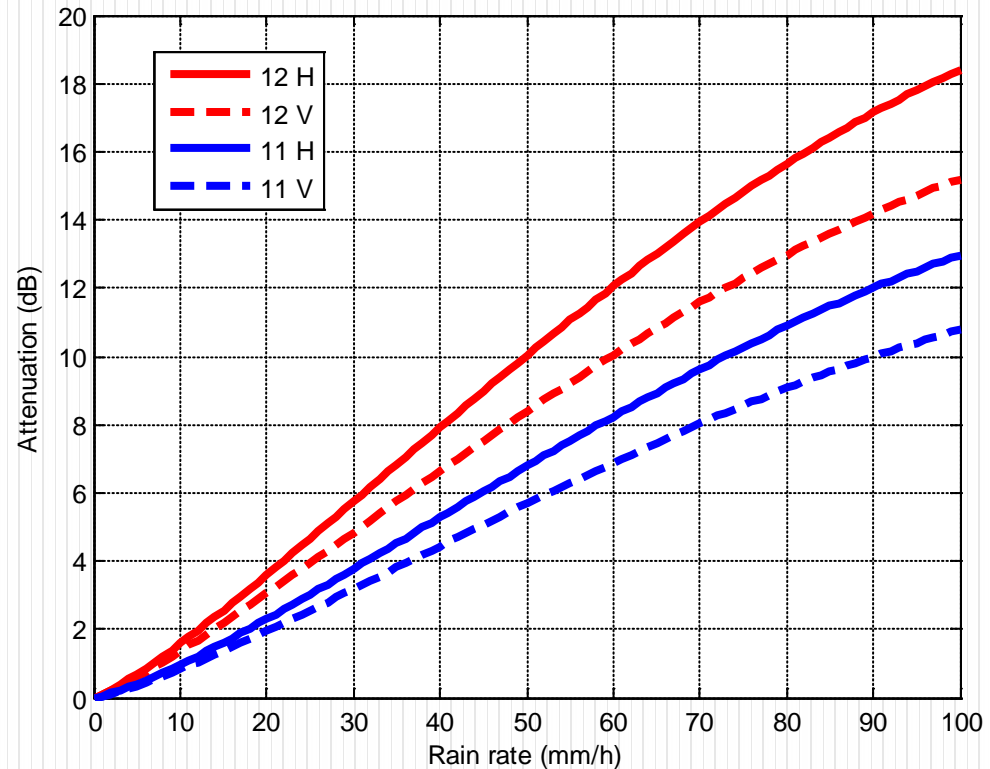
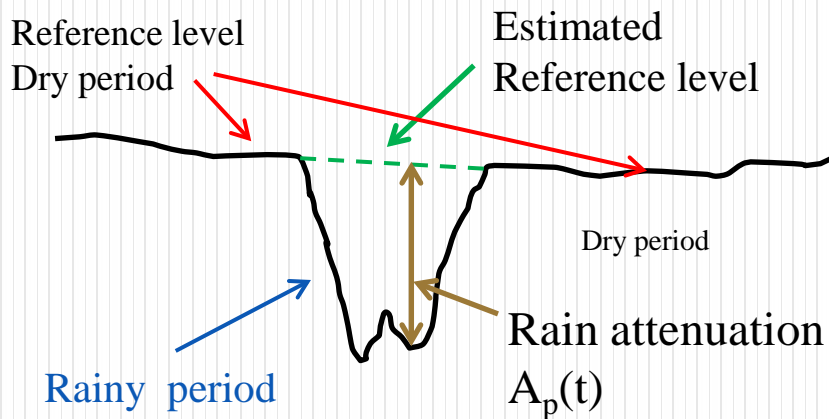
$\sigma_f(D)$ : Surface d'extinction (absorption + diffusion) à la fréquence  $f$  d'une goutte de diamètre  $D$   
 $N(D)$ : Densité volumique de gouttes par unité de diamètre  $D$

En bande Ku TV-SAT (10,7 – 12,7 GHz) : affaiblissement jusqu'à 18 dB en présence de très gros orages

# Sensibilité à l'eau (sous toutes ses formes)

- Nuages : < 0,5 dB
- Vapeur d'eau : < 0,5 dB
- Glaces : < 0,1 dB
- Mouvement satellite : dépend du gain de l'antenne (1 dB)
- Pluie : jusqu'à 18 dB pour des précipitations très fortes @12,7 GHz (100 mm / h sur 4 km)

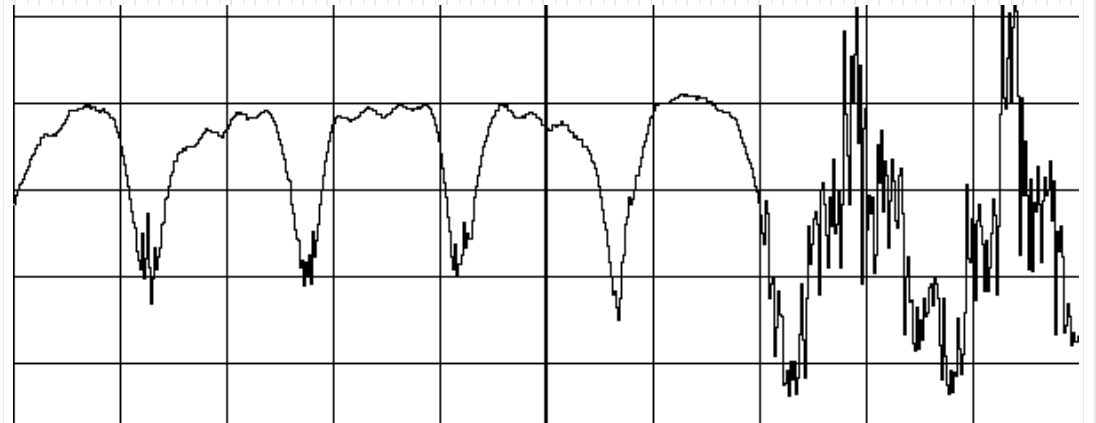
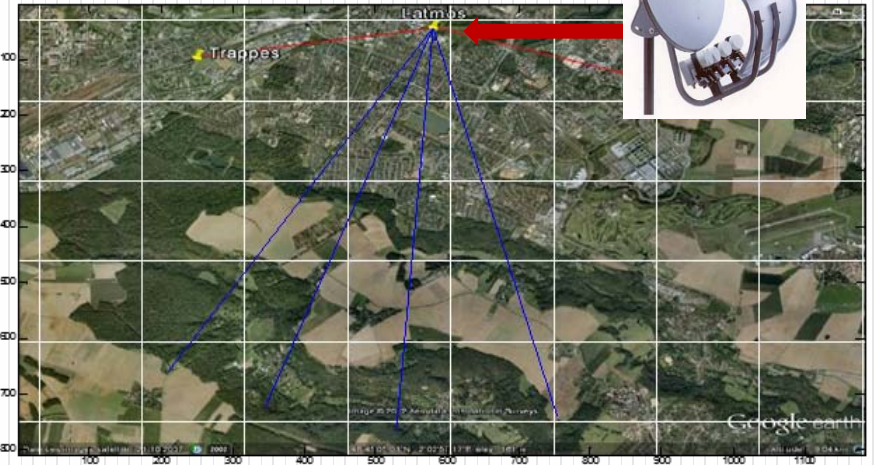
=> Pré-traitement indispensable pour supprimer les effets des nuages, de la vapeur d'eau et du mouvement du satellite



# Dispositif micro onde

- Réception simultanée de 4 satellites
- Antennes de réception multi focus à 4 têtes + analyseur de champ + switch
- Echantillonnage : 10 s

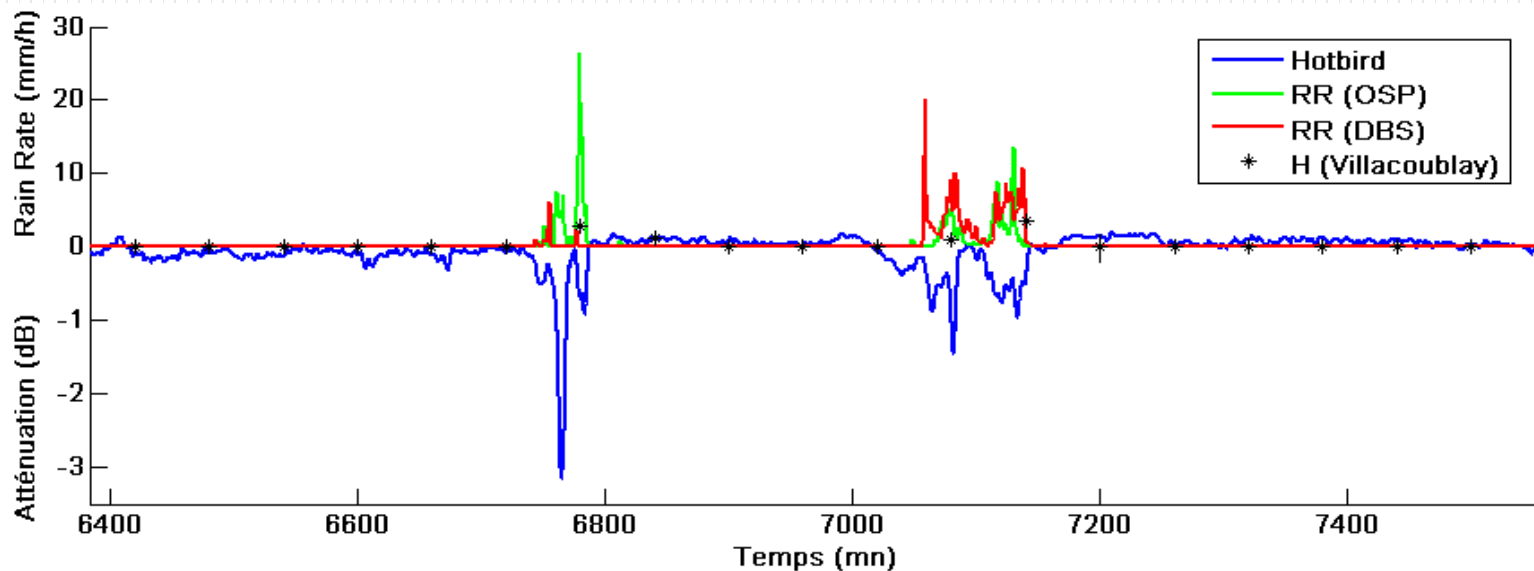
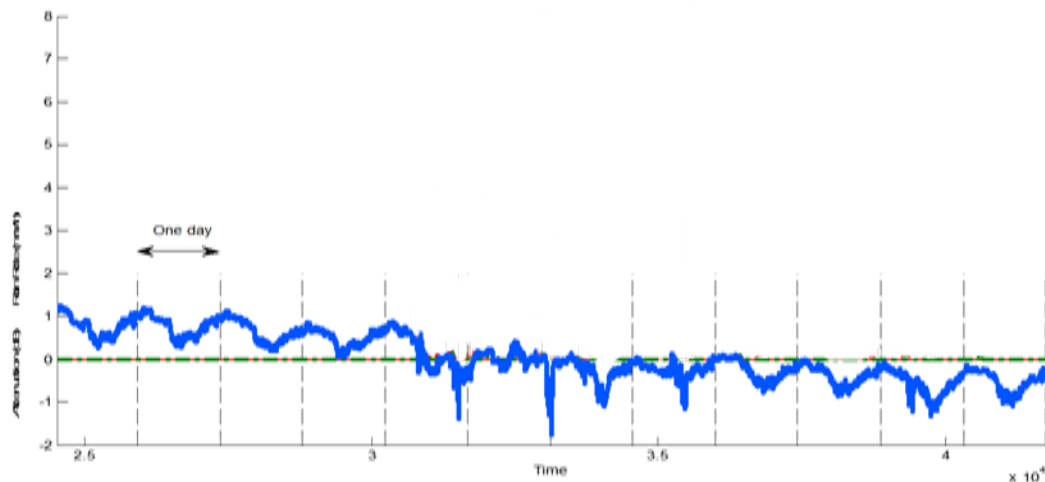
- Bande Ku 10,7-12,7 GHz
- Canaux 30 MHz
- Polarisation H et V





# Exemple de signaux reçus (1 liaison)

- Fluctuations journalières (Satellites géosynchrones et non géostationnaires)
- Variations aléatoires vapeur d'eau – passage nuageux

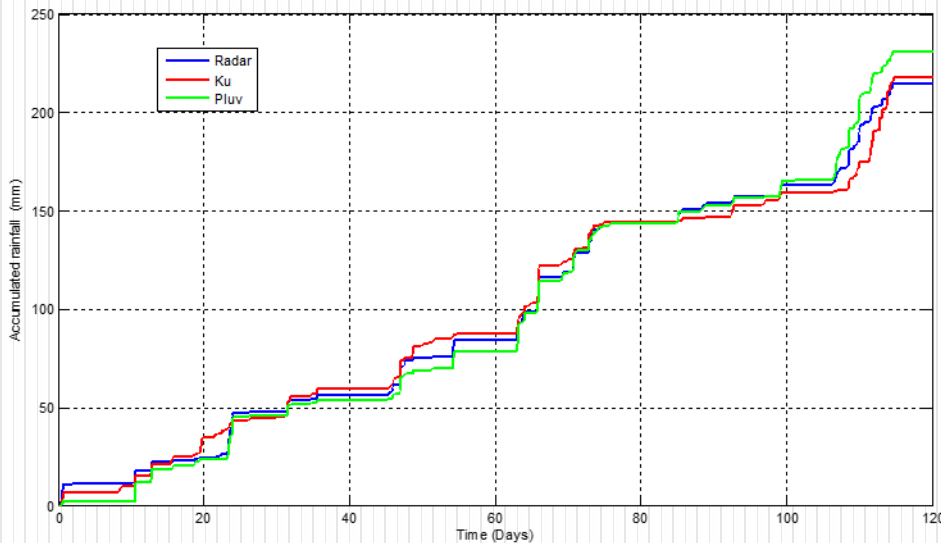
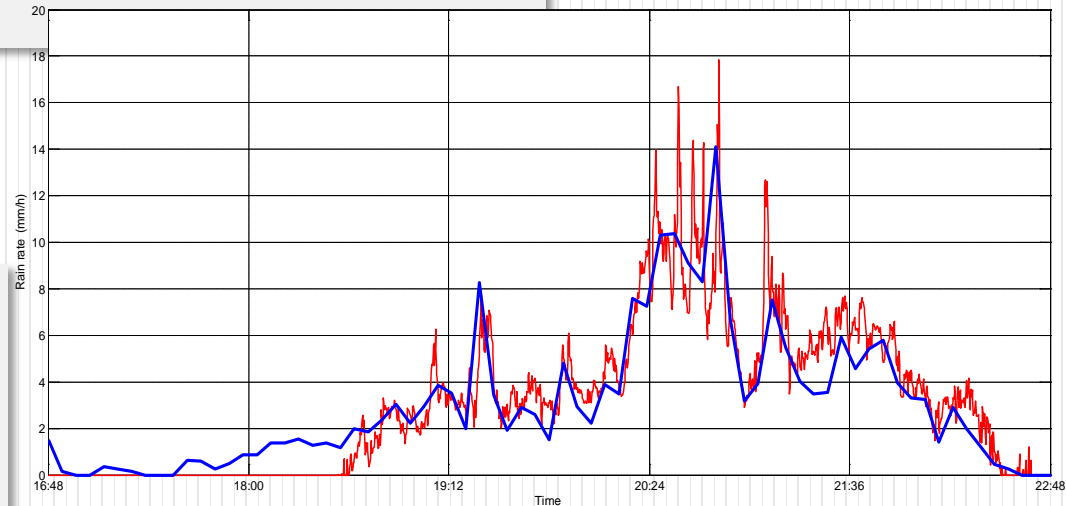


# Une seule liaison satellite

=> On estime une intensité moyenne de pluie sur la liaison  
 $\langle R(t) \rangle$

1 évènement : Radar vs Ku 

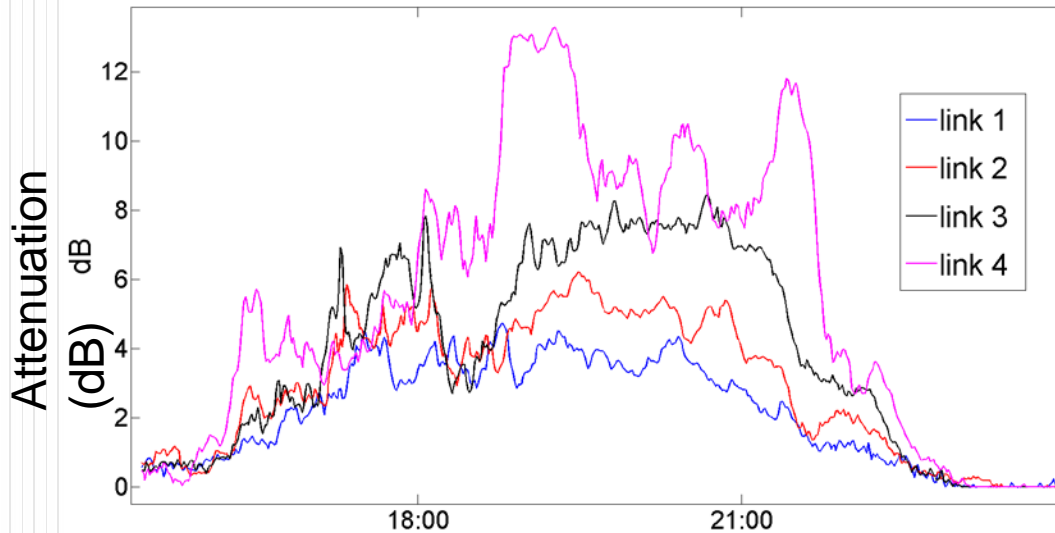
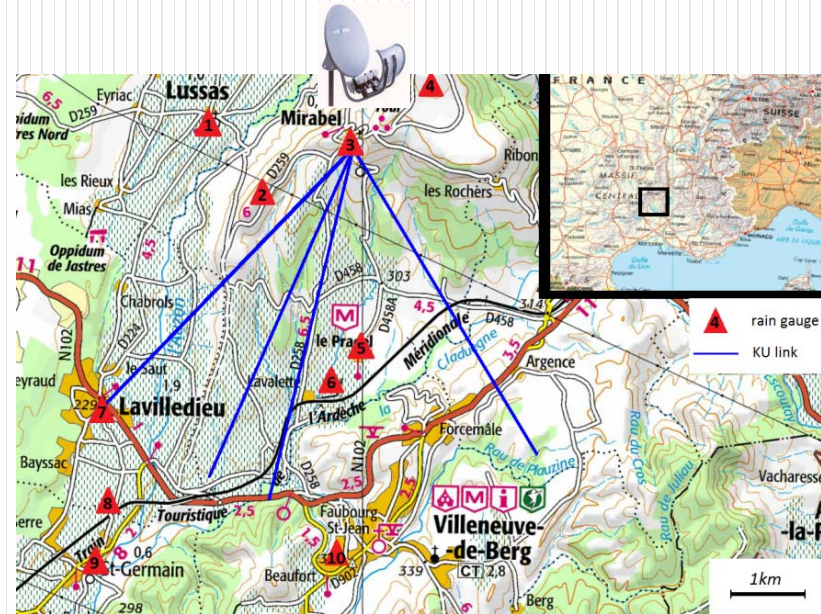
**Validation** : 1 an d'observations (2012)  
radar météorologiques Trappes (78),  
pluviomètres Météo France &  
disdromètres SIRTA (Palaiseau, 91)



Cumul sur 120 jours : Radar,  
Ku, Pluviomètres 

# 4 liaisons satellites

=> On estime le champ de pluie à partir des affaiblissements sur les 4 liaisons et d'une méthode d'assimilation variationnelle de type 4D-VAR

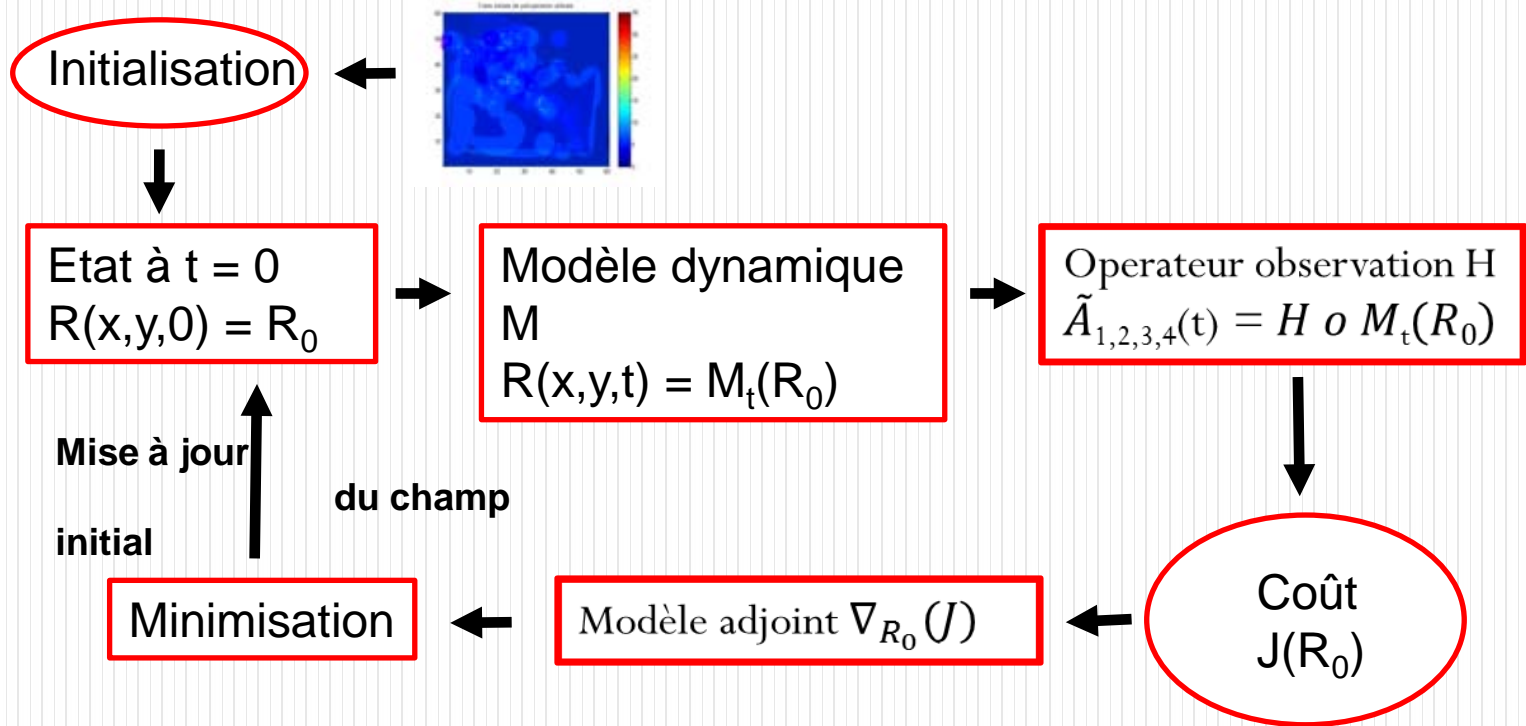


## Validation :

- Météo France radar at 40km
- Rain gauges network around the Ku-links

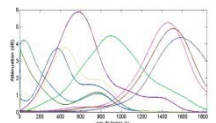
# Assimilation variationnelle 4D VAR

**Objectif** : Trouver le champ de précipitation initial  $R_0$  permettant d'expliquer au mieux les observations (séries temporelles d'affaiblissement) sur une période de temps donnée  $T$



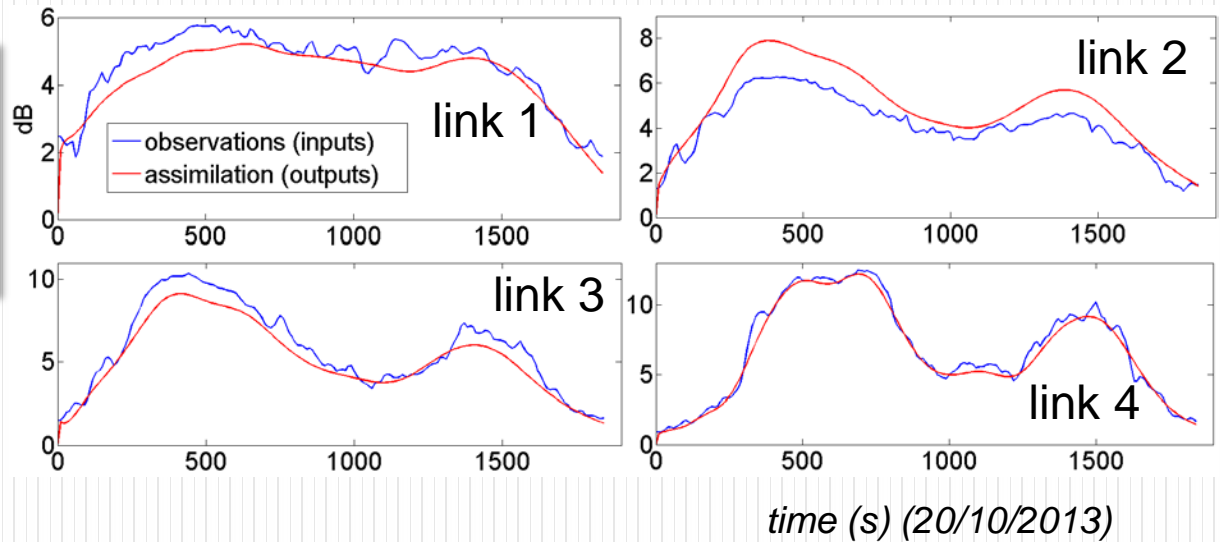
On cherche le champ initial  $R_0$  permettant de minimiser la fonction de coût sur toute la période  $T$  (trajectoire)

Observations  
 $A_{1,2,3,4}(t)$



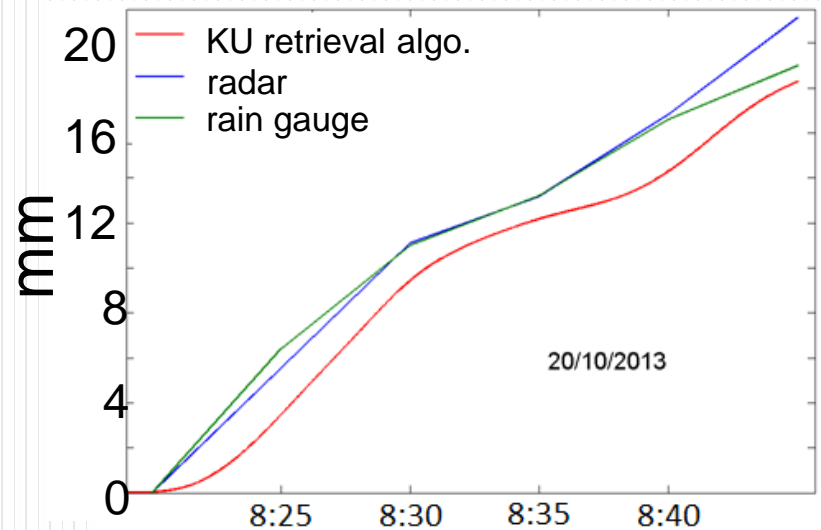
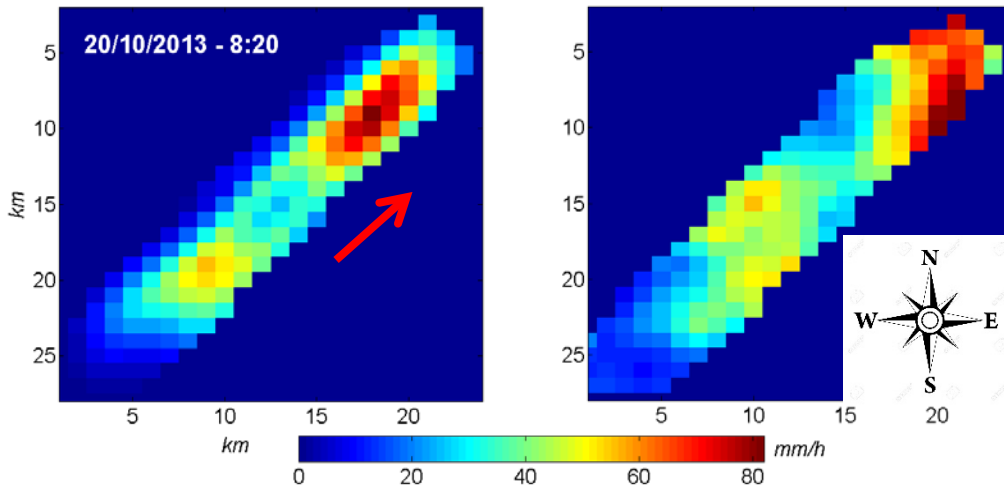
# Un exemple de champ de pluie estimé

**Objectif** : estimer une carte de précipitation de 30x30 km à la résolution 500x500 m



KU sensor + data assimilation

Météo France radar

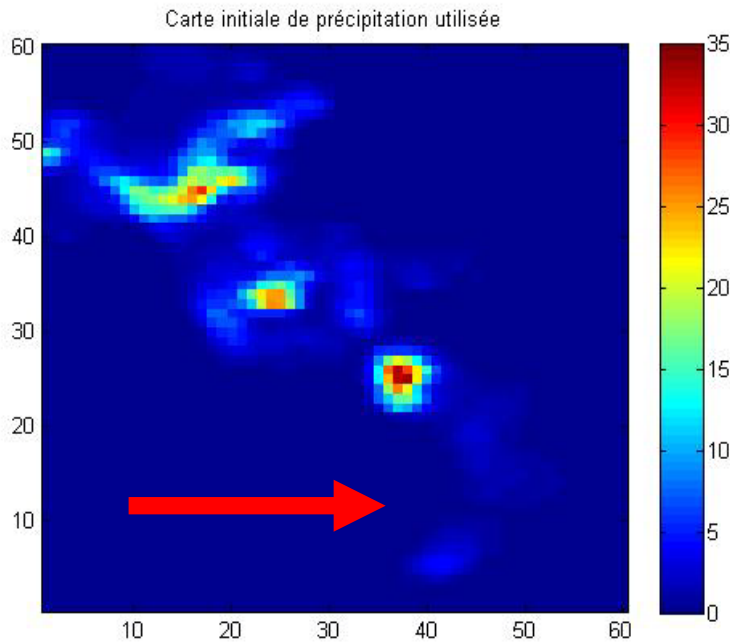


# Réseau de capteurs urbains : Etude de faisabilité

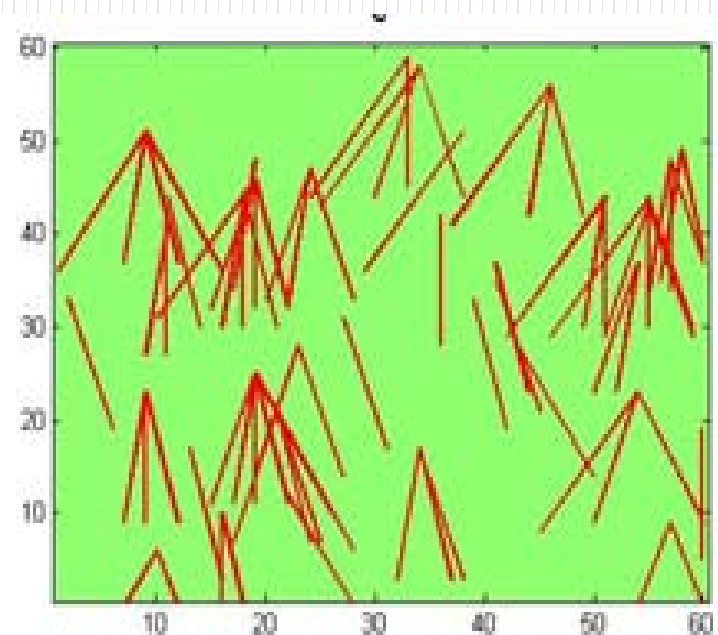
## Hypothèses :

- Nombre de liaisons limité et lié à la densité de population : zone urbaine
- Bruit de mesure : 0.5 dB.
- Vent homogène

## Exemple de champ de pluie

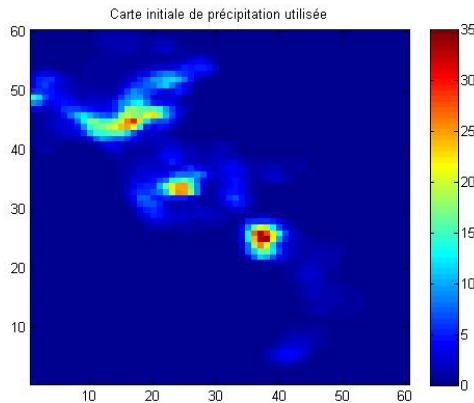


## Exemple de configuration : 79 liaisons



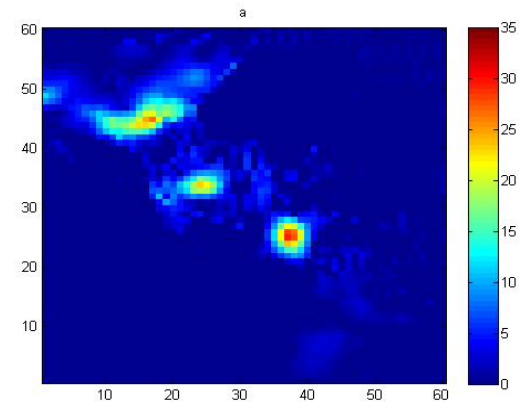
# Réseau de capteurs urbains : Etude de faisabilité

## Carte initiale

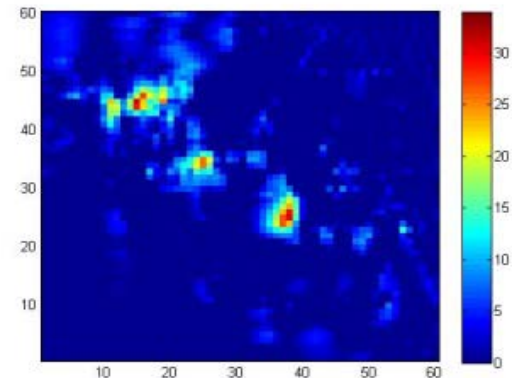


## Cartes restituées

Bruit = 0 dB



Bruit=0,5 dB



**Zone de 60 x 60 = 3600 km<sup>2</sup>**  
**79 liaisons, soit 1 liaison / 45 km<sup>2</sup>**

=> Nombre restreint de capteurs

- Les structures sont restituées (résolution 500 m)
- Le taux de pluie moyen sur l'ensemble de la zone est correctement restitué pour des bruits allant jusqu'à 1dB

# Conclusion

- L'Utilisation des satellites commerciaux de TV-SAT est une opportunité pour l'observation des précipitations.
- La mesure simultanée des atténuations issues de plusieurs satellites associée à une méthode d'assimilation permet d'estimer des cartes de précipitations sur quelques dizaines de kilomètres carrés et une résolution équivalente à celle des radars météorologiques.
- La méthode est facilement extensible à plusieurs récepteurs distants afin d'élargir la zone ainsi qu'à la fusion avec d'autres types d'observations (pluviomètres, radars sol et/ou spatial).
- Une étude de faisabilité montre qu'un nombre de récepteurs limité de l'ordre de 1/ 40 km<sup>2</sup> permettrait d'estimer les précipitations à l'ensemble d'une zone urbaine et périurbaine de plusieurs centaines de km<sup>2</sup>.



## Pour plus d'info ...

Barthès L., Mallet C., Rainfall measurement from opportunistic use of Earth-space link in Ku band. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2013, 6 (8), pp.2181-2193.

Mercier F., Barthès L., Mallet C, Estimation of Finescale Rainfall Fields Using Broadcast TV Satellite Links and a 4DVAR Assimilation Method. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, American Meteorological Society, 2015, 32 (10), pp.1709-1728