

Estimation géostatistique de l'intensité de la pluie à l'échelle locale



Plan

1) Introduction :

- Instrumentation pour la mesure de la pluie.
- Instrument retenu pour la mesure de la pluie à l'échelle locale : réseau dense de pluviomètres haute résolution.

2) Reconstruction du champ de pluie à partir d'observations collectées par un réseau de pluviomètres :

- Caractérisation de la pluie à l'échelle locale / Définition d'un modèle.
- Workflow.
- Inférence des paramètres.
- Simulation d'un ensemble de champs de pluie.

3) Quelques résultats préliminaires.

4) Conclusion / perspectives.

Introduction : Différentes méthodes de mesure de la pluie

De nombreux instruments sont disponibles pour mesurer la pluie à différentes échelles spatiales et temporelles.



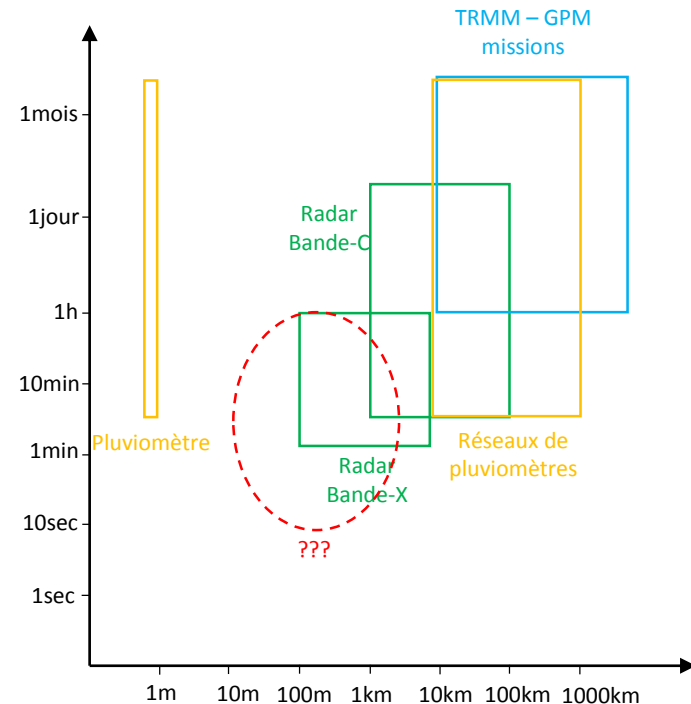
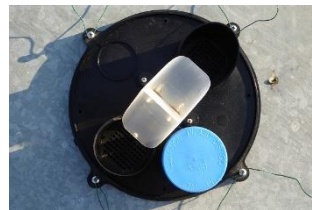
- Satellite radar and IR
(missions TRMM et GPM)



- Radar météorologique
terrestre



-Pluviomètre (modèle
tipping-bucket).



Cependant des efforts instrumentaux sont nécessaires pour affiner la mesure de la pluie à l'échelle locale avec une grande résolution temporelle.

Introduction : Un nouveau pluviomètre haute résolution

Co-localiser :

1) Pluviomètre haute résolution (Pluvimate).



Principe de fonctionnement : compter les gouttes (de taille calibrée) formées par la pluie collectée par l'entonnoir.

Résolution : 0.01mm de pluie

Utilisation : Mesure 'exacte' de l'intensité de la pluie.



2) Capteur comptant les gouttes (utilisation détournée du capteur du Pluvimate).

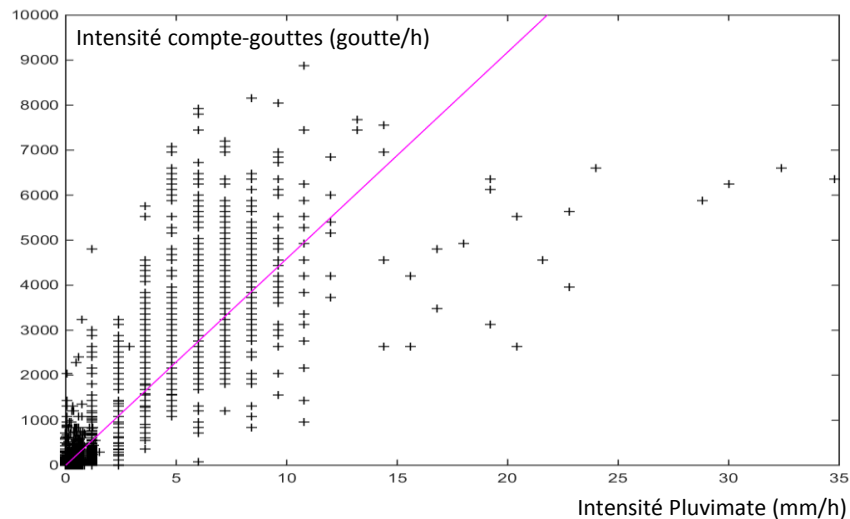
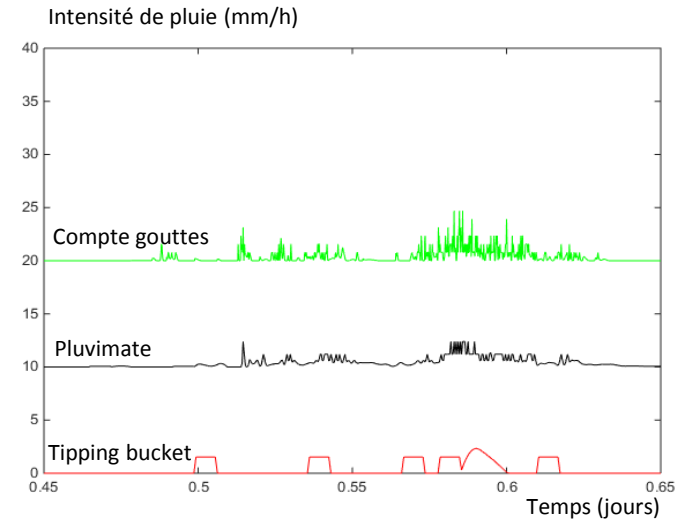
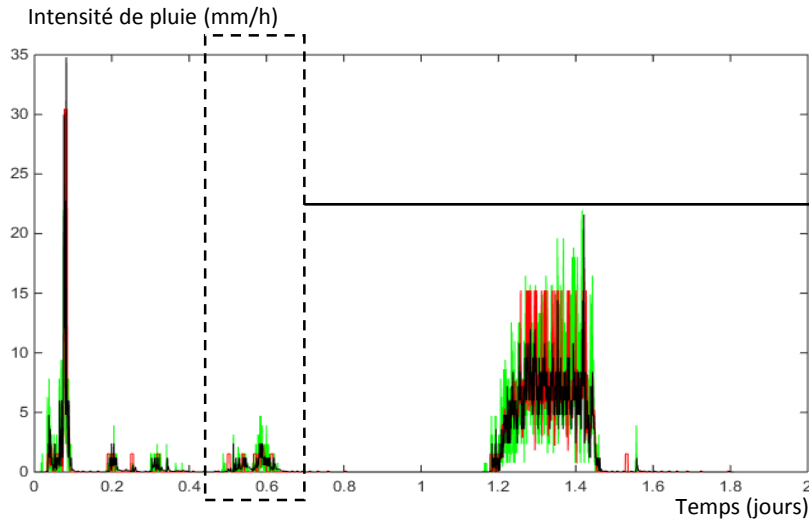
Principe de fonctionnement : Compte les gouttes dépassant un seuil d'énergie lors de l'impact.

Utilisation : Mesure de l'intermittence, mesure précise (mais non calibrée) de l'intensité.



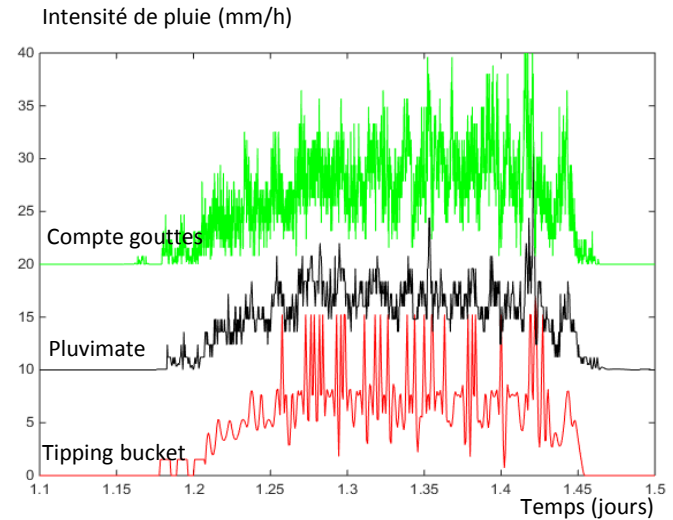
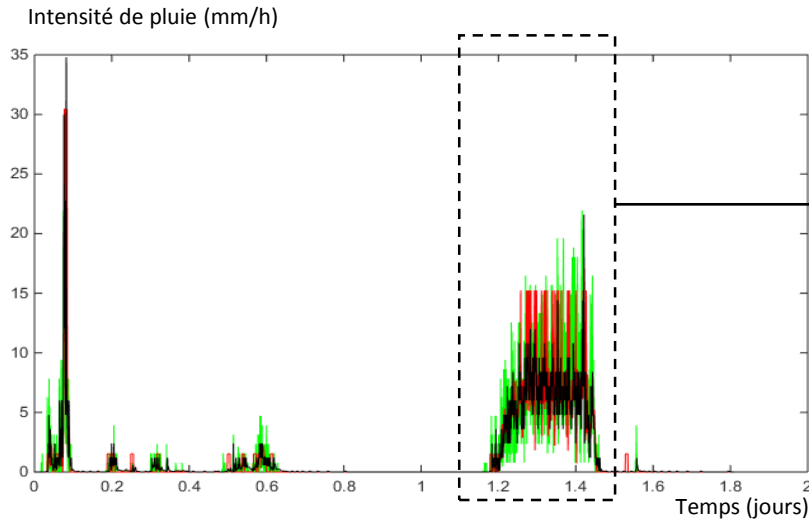
Introduction : Un nouveau pluviomètre haute résolution

Séries temporelles observées :



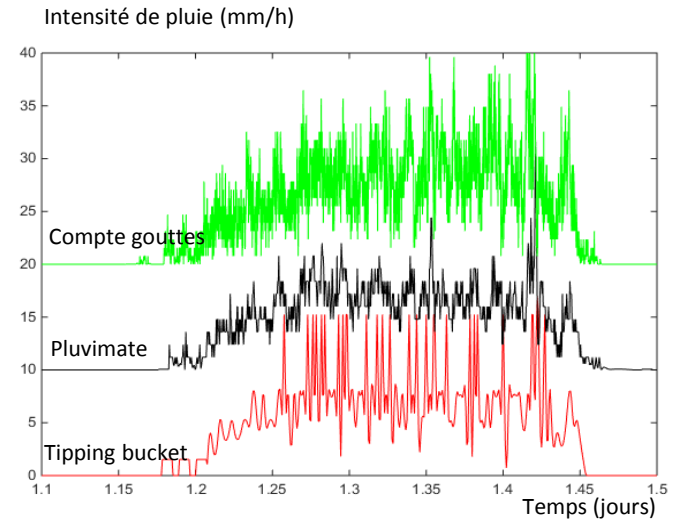
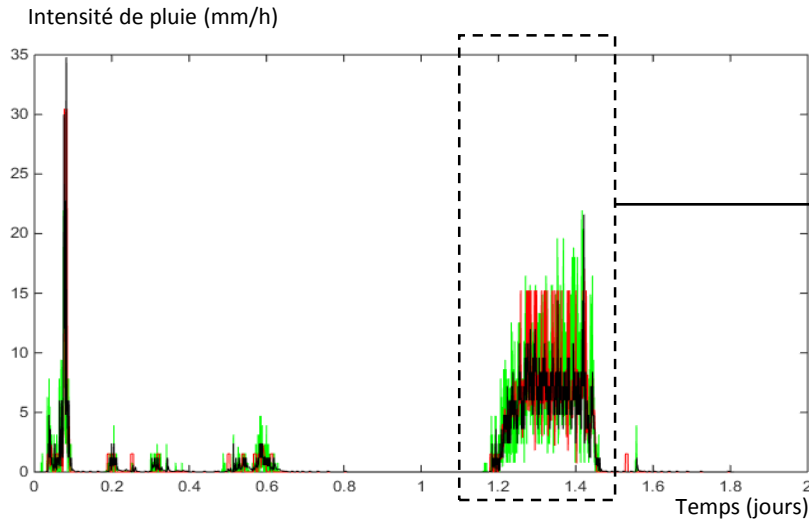
Introduction : Un nouveau pluviomètre haute résolution

Séries temporelles observées :

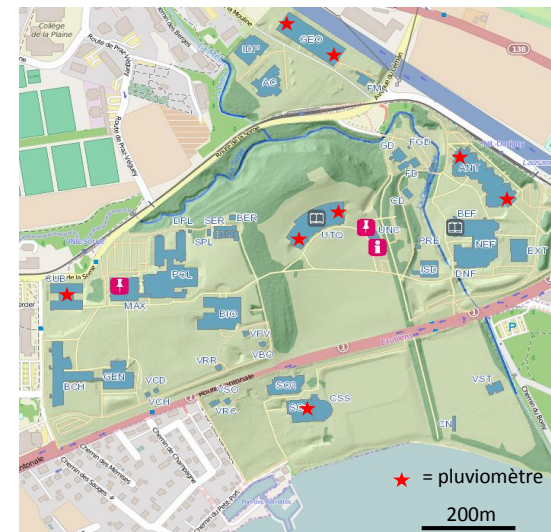


Introduction : Un nouveau pluviomètre haute résolution

Séries temporelles observées :



Déploiement d'un réseau local de pluviomètres (+compteurs de gouttes).



Introduction : Objectifs et démarche

Objectifs :

- Imager localement le champ de pluie à partir des observations du réseau de pluviomètres haute résolution.
- Que se passe t'il au sein d'un pixel radar (1km x 1km)?
- Quelle est la structure de la pluie lorsqu'on l'observe avec une résolution d'environ 1min (temps) x 50m (espace) x 0.01mm (mesure pluie)?

Démarche :

- Détermination des structures caractéristiques de la pluie à l'échelle locale. (bibliographie + observations).
- Interpolation spatio-temporelle à l'aide de méthodes géostatistiques. (adaptation / combinaison de méthodes existantes au cas d'un réseau local de pluviomètres).
- Evaluation de l'incertitude liée à l'interpolation (simulation d'un ensemble de champs de pluie).

Caractérisation de la pluie à l'échelle locale : Observations

Advection des nuages au-dessus de l'observateur terrestre.

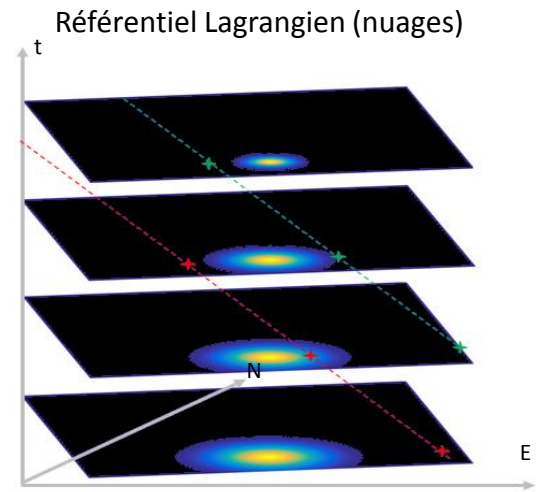
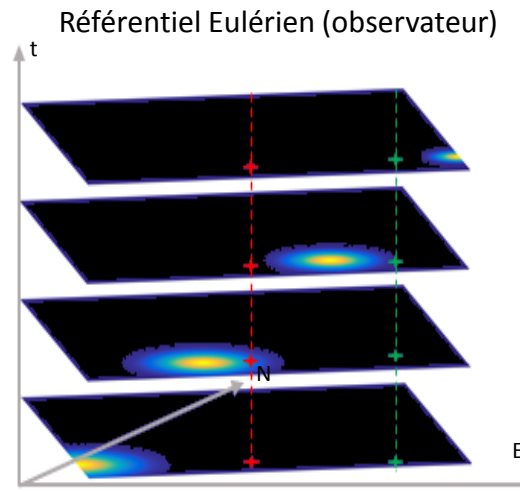
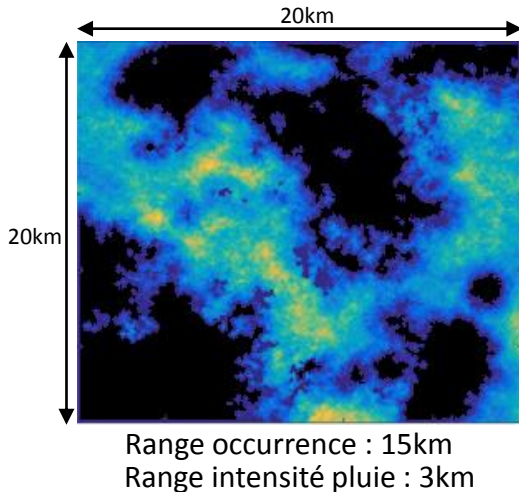
Advection indépendante de la diffusion.

(Lepioufle et al, 2012; Leblois et Creutin, 2013).

Succession de périodes sèches et humides. Au sein des périodes humides, l'intensité est hétérogène et présente un histogramme dissymétrique.

(Barancourt et al, 1992; Pardo-Igúzquiza et al, 2006).

Diminution de l'intensité de la pluie lorsque l'on s'approche des limites des cellules pluvieuses. (Schleiss et al, 2014).



Caractérisation de la pluie à l'échelle locale : Modélisation

Advection des nuages au-dessus de l'observateur terrestre.

Advection indépendante de la diffusion.

-> Variographie et simulations dans un référentiel se déplaçant avec les nuages (référentiel Lagrangien).

Succession de périodes sèches et humides. Au sein des périodes humides, l'intensité est hétérogène et présente un histogramme dissymétrique.

-> Champ d'indicatrices.

-> Champ multi-gaussien + anamorphose gaussienne.

} Supposés indépendants

Diminution de l'intensité de la pluie lorsque l'on s'approche des limites des cellules pluvieuses.

-> Dry drift : décroissance linéaire de l'intensité moyenne en fonction de la proximité à la transition pluie / sec.

-> Rend les champs d'intermittence et d'intensité de la pluie dépendants.

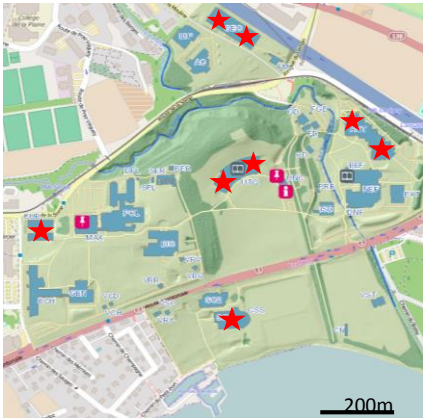
-> Variance supposée stationnaire.

=> Tous les paramètres sont supposés stationnaires dans l'espace et le temps.

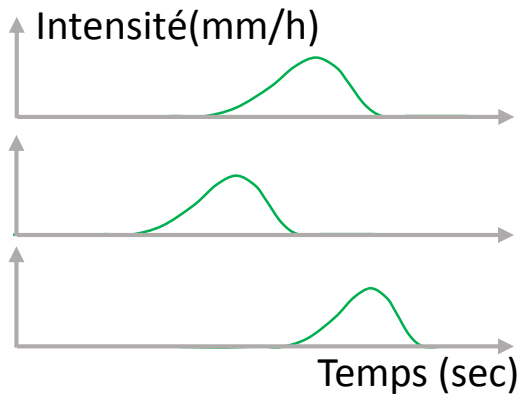
Workflow

Procédure en trois étapes :

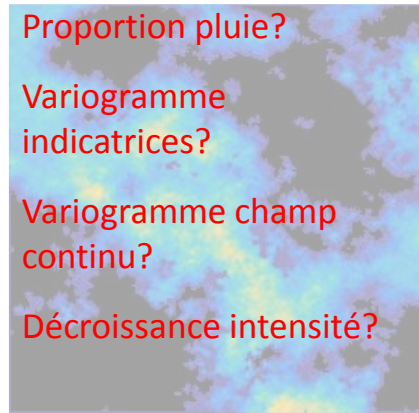
(1) Collecte des données



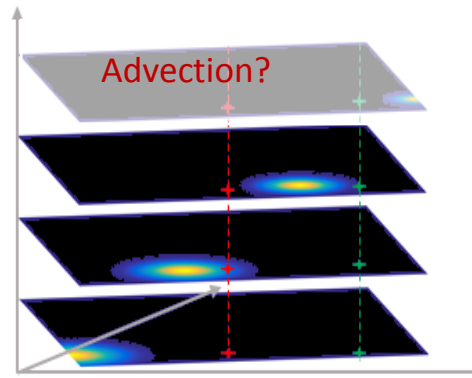
+



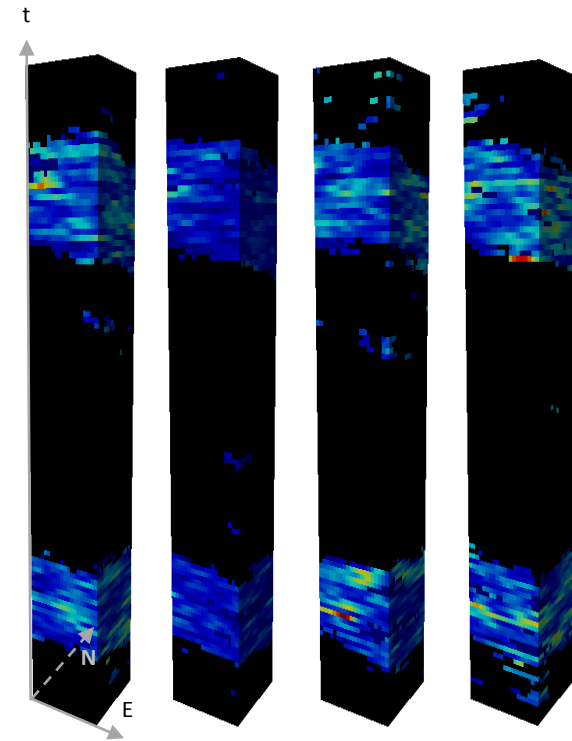
(2) Estimation des paramètres du modèle



+



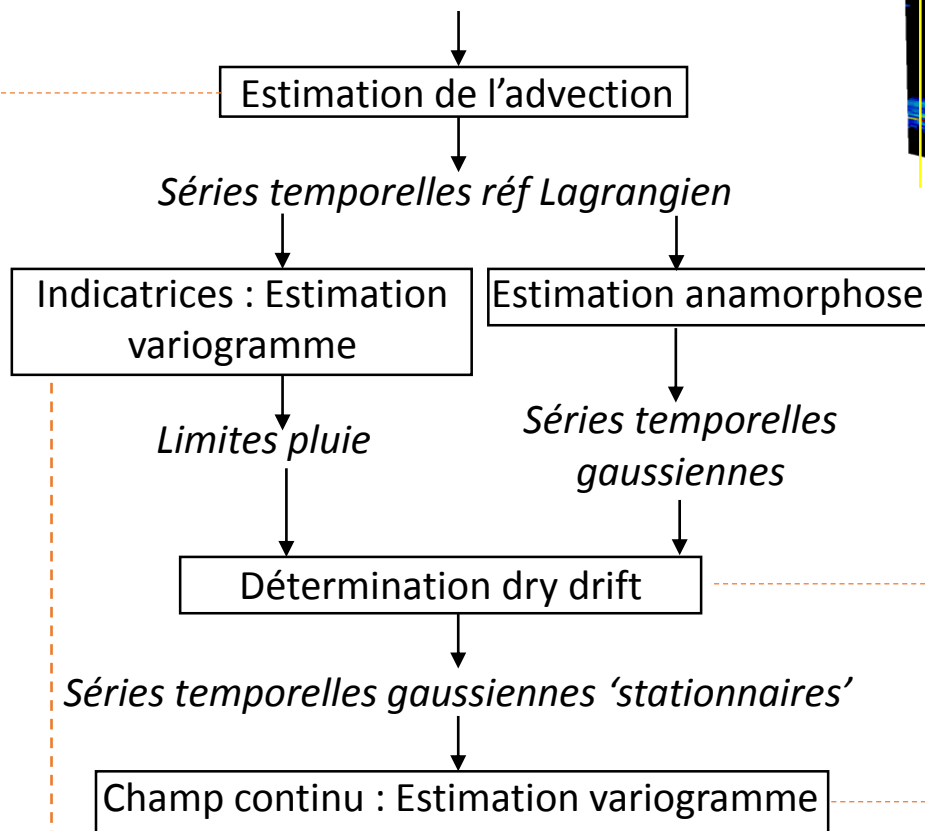
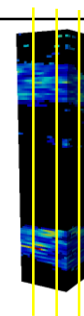
(3) Simulations conditionnelles



Estimation des paramètres

Séries temporelles brutes : données synthétiques

ou mesurées



Modèle d'advection

-> Pdf direction
et vitesse.

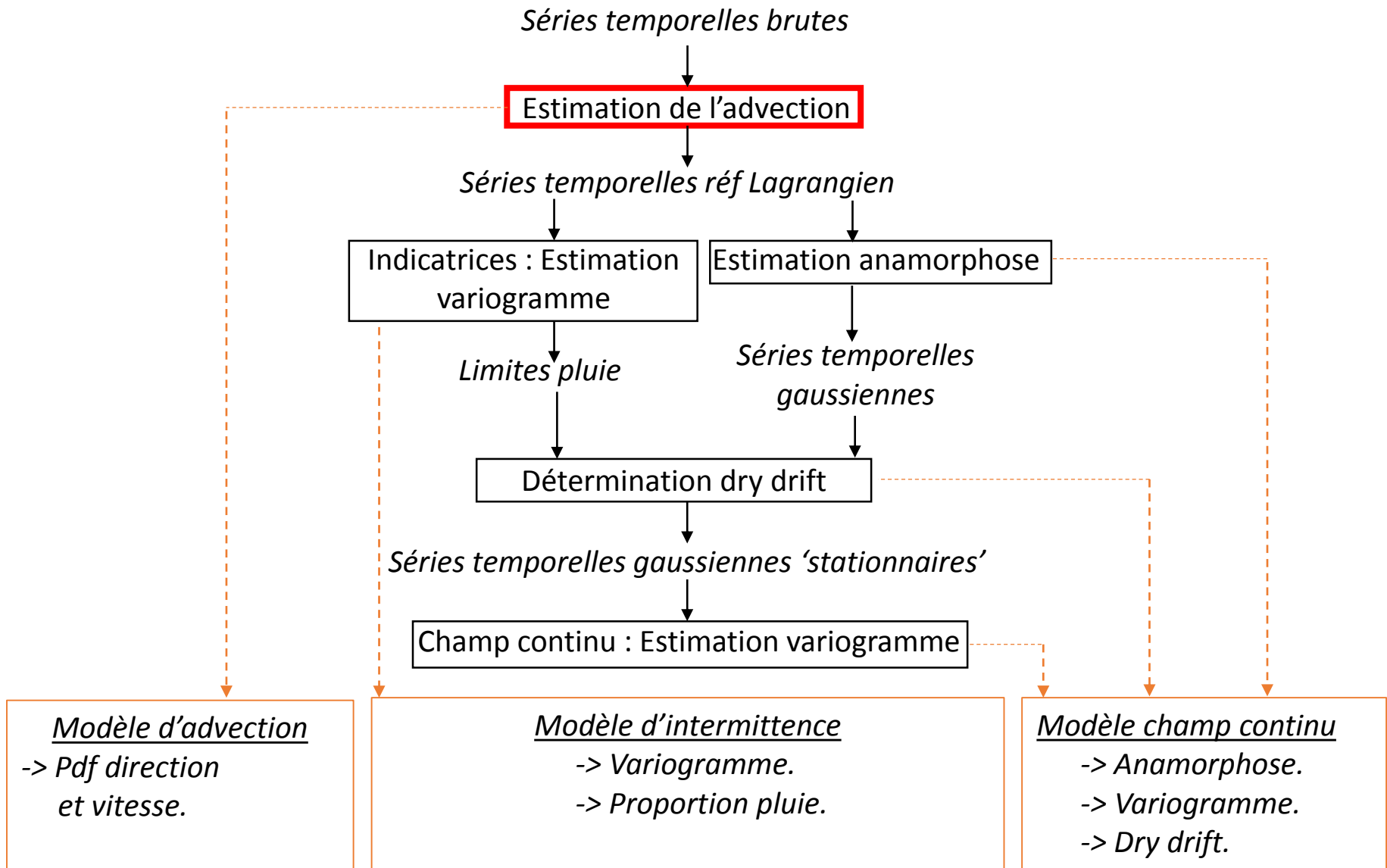
Modèle d'intermittence

-> Variogramme.
-> Proportion pluie.

Modèle champ continu

-> Anamorphose.
-> Variogramme.
-> Dry drift.

Estimation des paramètres : Advection



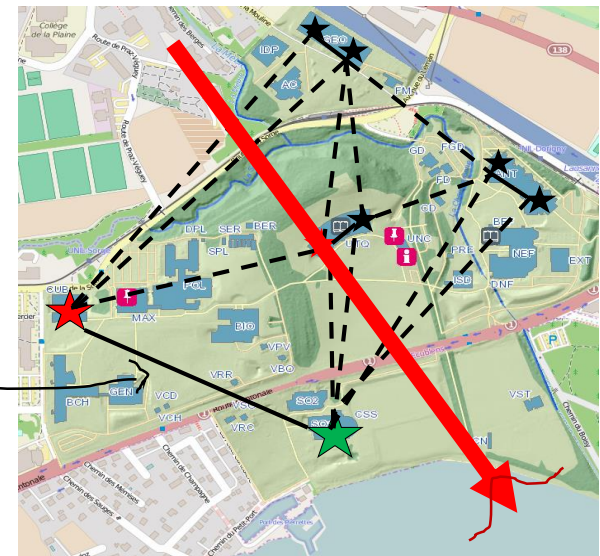
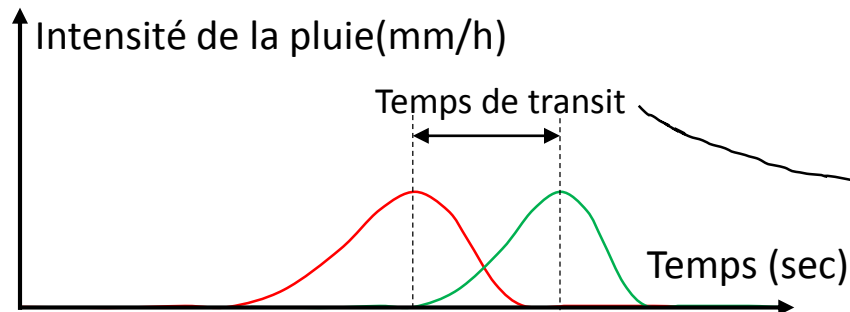
Estimation des paramètres : Advection

Advection supposée :

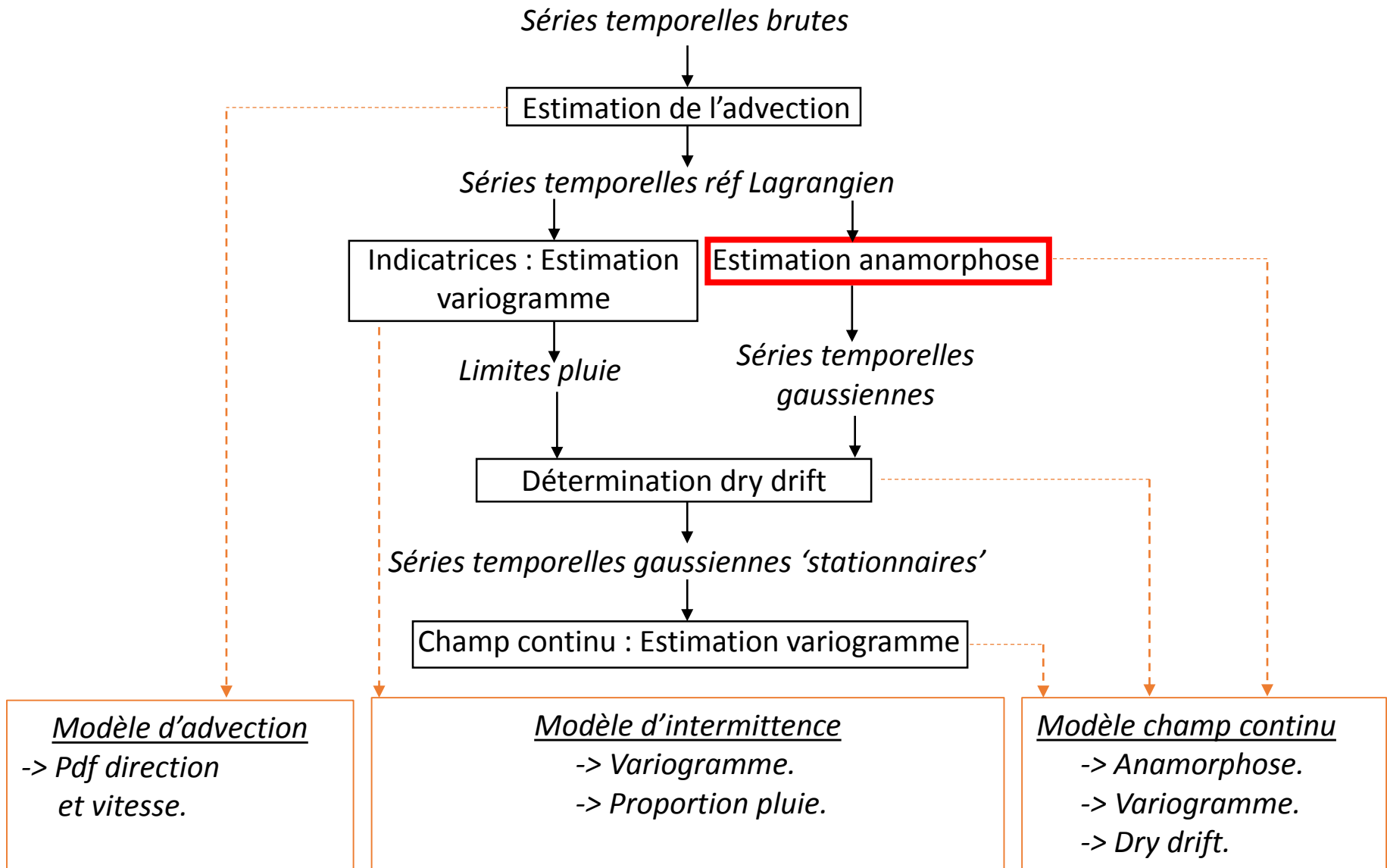
- Rectiligne.
- Uniforme au-dessus du réseau de pluviomètres.
- Constante au cours du temps.

Estimation des paramètres de l'advection :

- Calcul du temps de transit entre pluviomètres par corrélation des séries temporelles d'intensité de la pluie.
- Estimation de l'advection (vitesse et direction) par moindres carrés.
=> Pdf des paramètres (hypothèse gaussienne) : μ , σ



Estimation des paramètres : Anamorphose gaussienne



Estimation des paramètres : Anamorphose gaussienne

Les séries temporelles d'intensité (non nulle) de la pluie sont asymétriques.

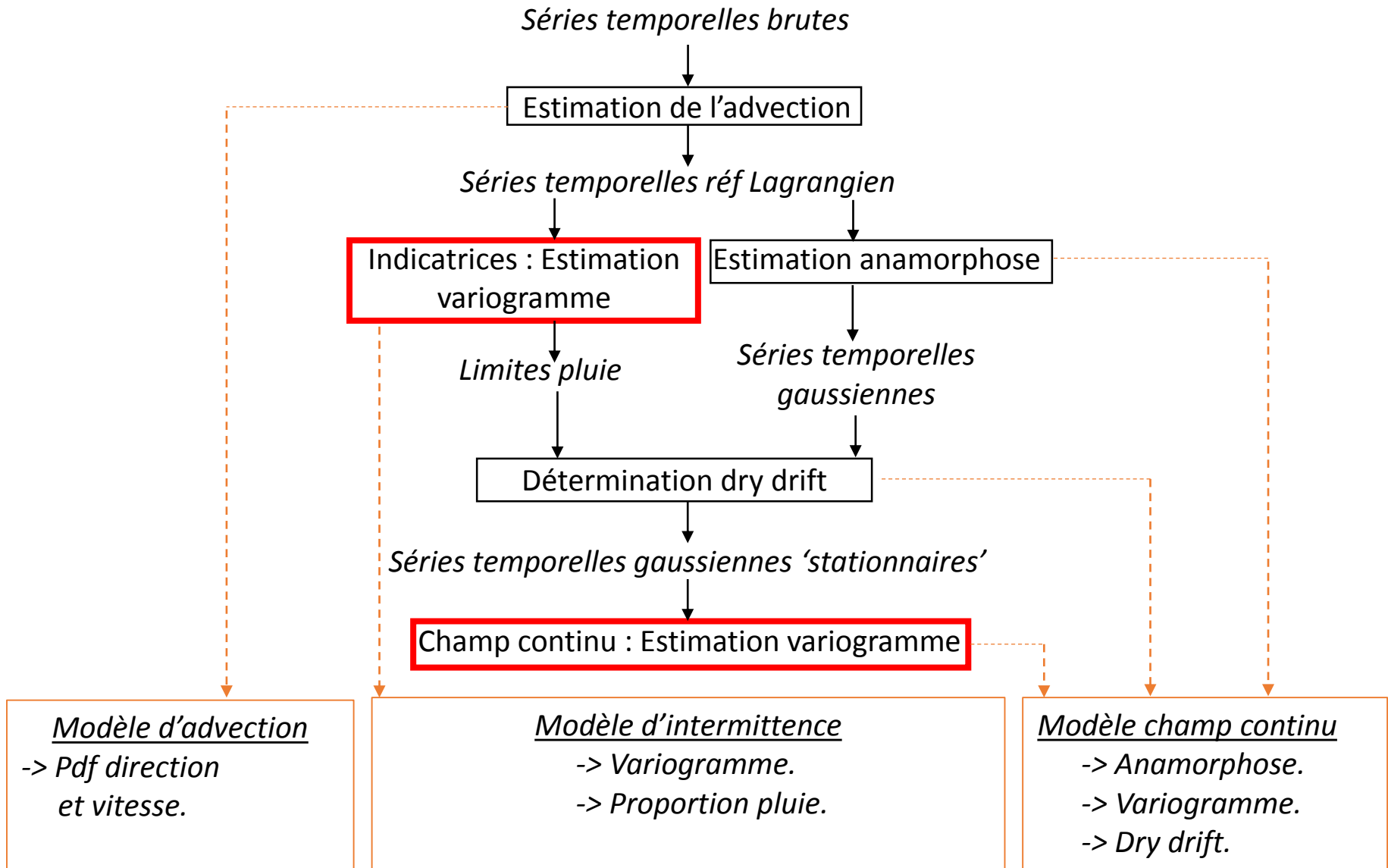
Le but étant de réaliser des simulations, une distribution multi-gaussienne est souhaitée.

Une transformation Box-Cox est utilisée pour rendre l'histogramme proche d'une gaussienne.

$$I(\lambda) = \begin{cases} \frac{I^\lambda - 1}{\lambda} & \text{si } \lambda \neq 0 \\ \log(I) & \text{si } \lambda = 0 \end{cases}$$

Avec : - I : Intensité de la pluie.
- λ : Paramètre à ajuster.

Estimation des paramètres : Variogrammes



Estimation des paramètres : Variogrammes

Modèle de variogramme :

- Spatio-temporel.
- Anisotropie géométrique le long de l'axe du temps (isotropie dans l'espace).
- Pour l'instant exponentiel.

$$\gamma(h, \tau) = S \times \left(1 - \exp \left(- \sqrt{\left(\frac{h}{R_h} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{R_\tau} \right)^2} \right) \right) + N$$

Inférence en deux étapes :

1) Un ajustement du variogramme spatial ($\tau=0$) permet de calculer S , N et R_h .

Les contraintes suivantes sont appliquées :

- $N + S =$ variance totale des séries temporelles.
- $N > 0$.

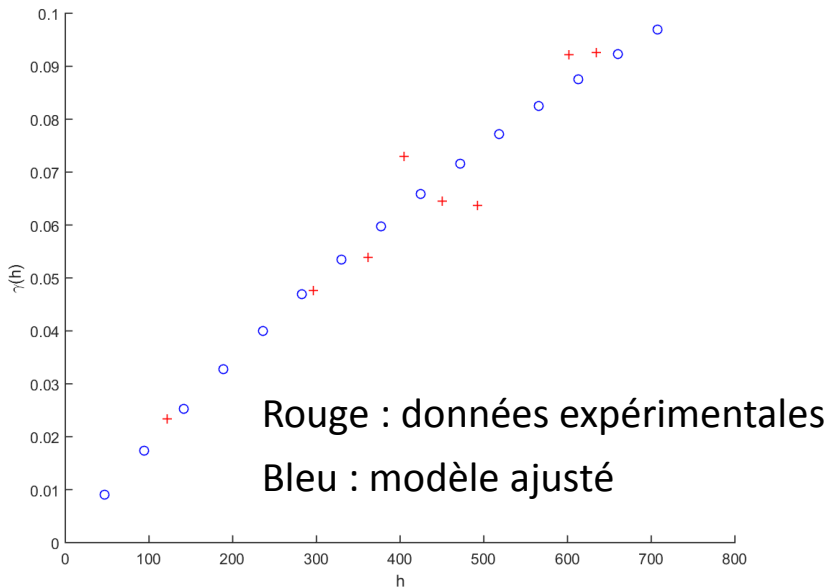
2) Un ajustement du variogramme spatio-temporel permet de calculer R_τ .

Les contraintes suivantes sont appliquées :

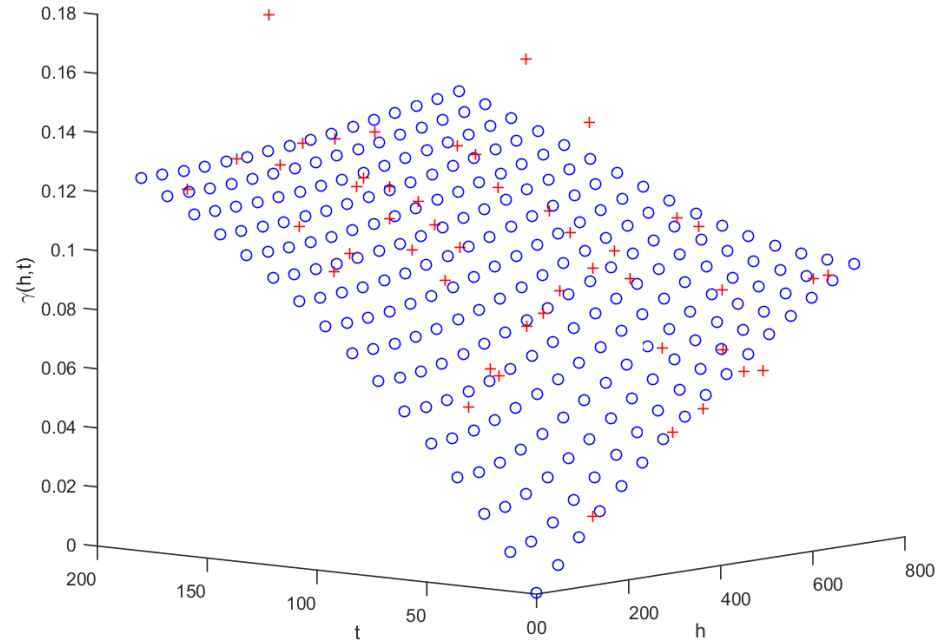
- N , S et R_h sont fixés aux valeurs calculées précédemment.

Estimation des paramètres : Variogrammes

Variogramme spatial



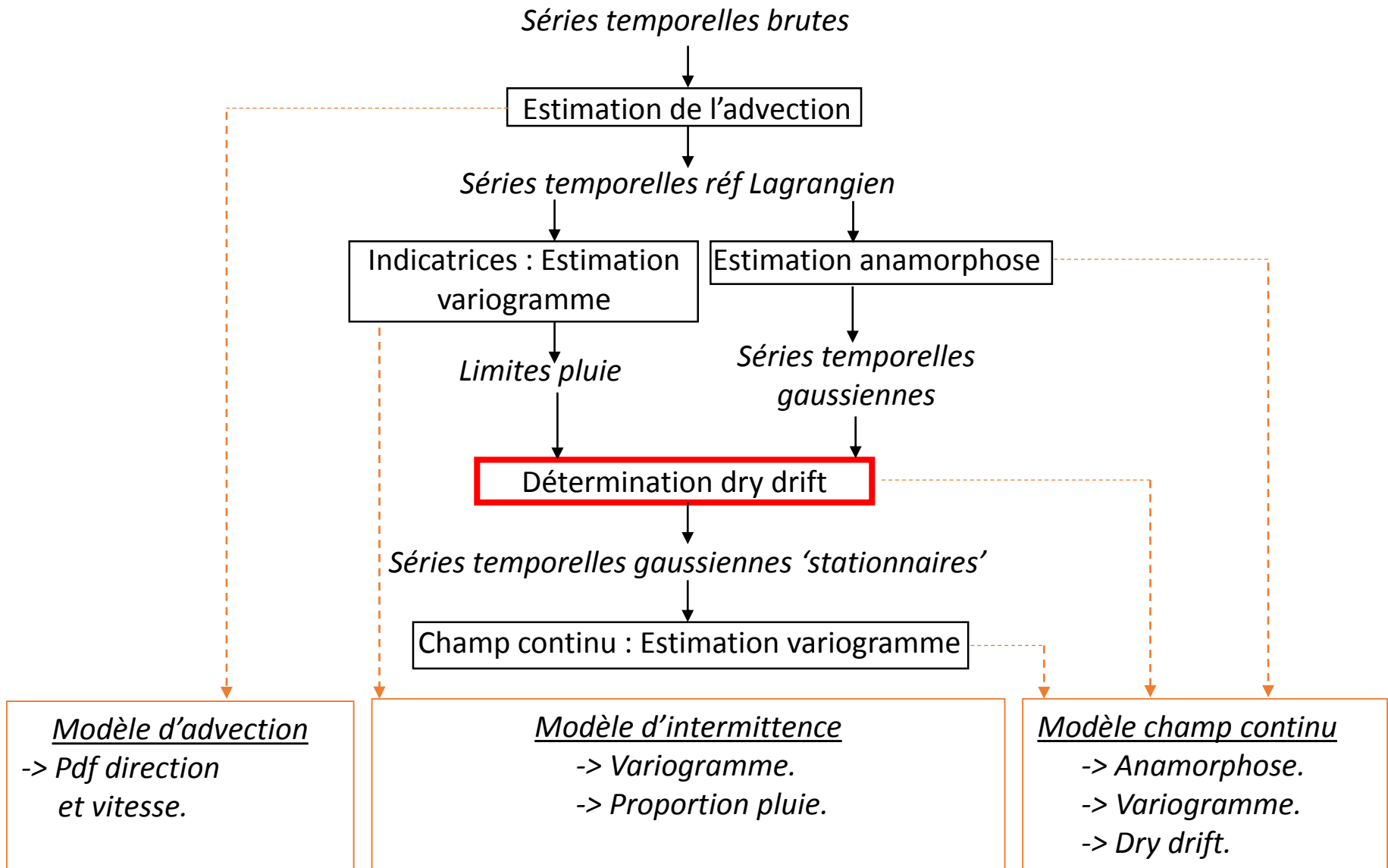
Variogramme spatio-temporel



Difficultés :

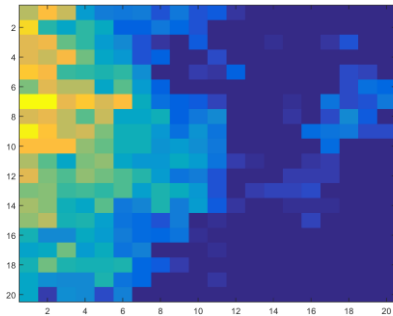
- Seuls les petits lags sont observés.
- Composante temporelle mal contrainte (pas d'observations).
- Le nombre d'observations est variable (emprise du réseau, vitesse d'advection, fréquence d'échantillonnage des pluviomètres).
- Nugget sous estimé.

Estimation des paramètres : Dry drift

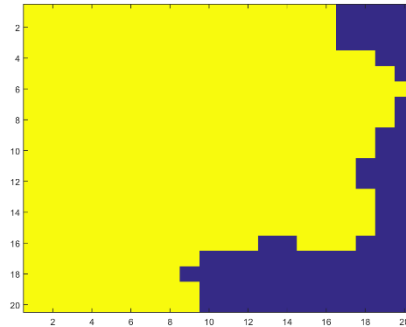


Estimation des paramètres : Dry drift

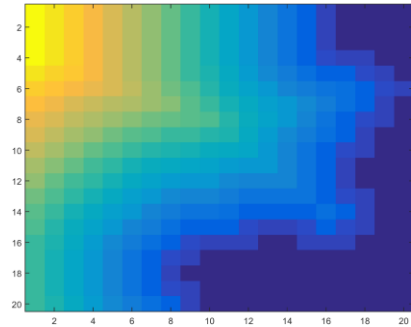
- 1) Un krigeage d'indicateurs permet de calculer une délimitation des zones de pluie.
- 2) Une matrice de distances à la transition pluie-sec est dérivée de cette délimitation.



Champ de pluie 'vrai'



Résultat du krigeage :
Délimitation des zones de pluie



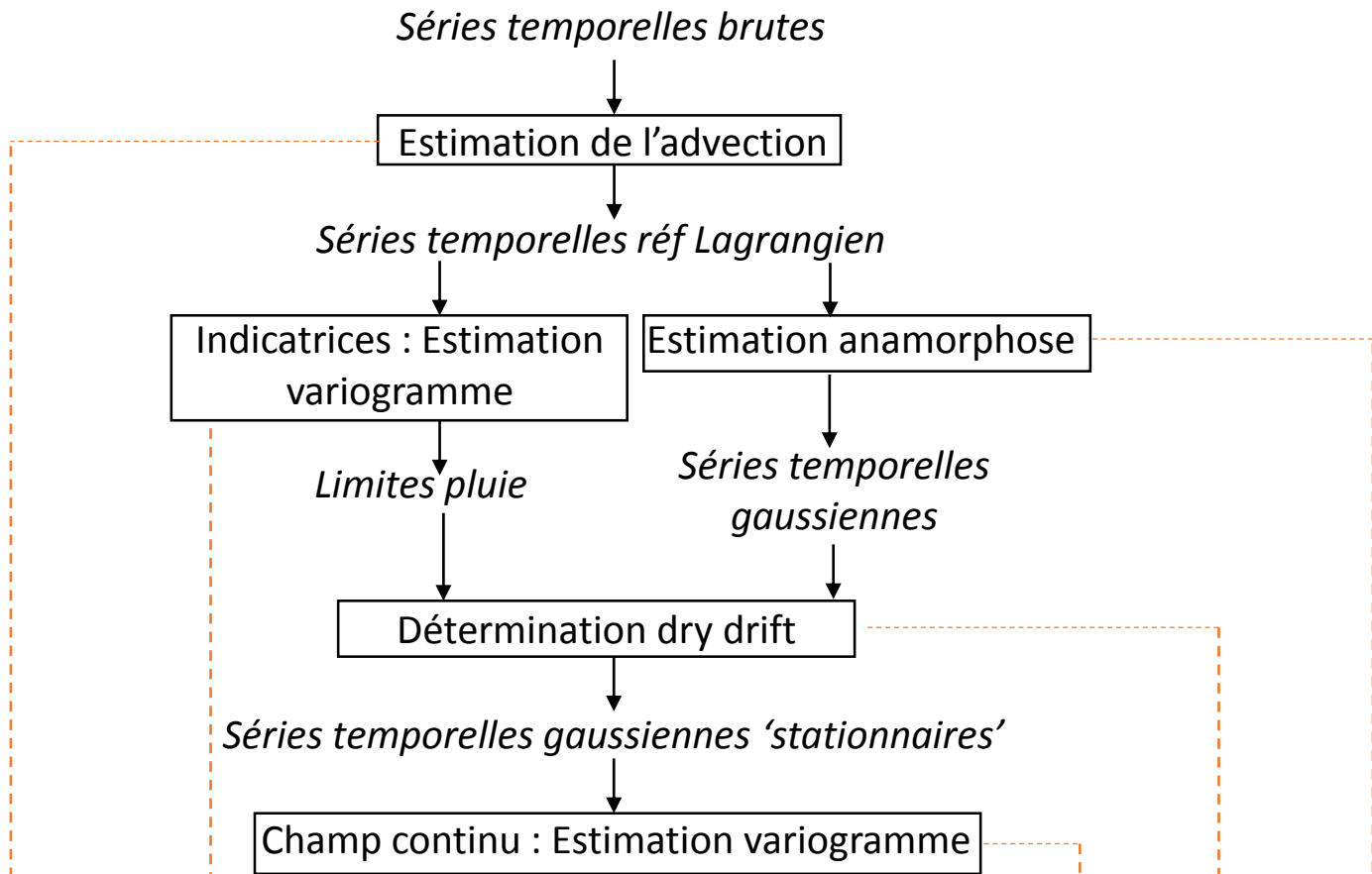
Distance à la limite pluie / sec

- 3) Les paramètres de la dérive d'intensité (dry drift) sont calculés par :

$$I(h) = \begin{cases} a_0 + a_1 \cdot h & \text{si } h < h_c \\ M & \text{sinon} \end{cases}$$

- Avec :
- I : l'intensité de la pluie (séries temporelles gaussiennes (anamorphosées)).
 - h : la distance à la transition pluie-sec.
 - h_c , M , a_0 et a_1 les paramètres de Dry drift.

Estimation des paramètres : Conclusion



Modèle d'advection

-> Pdf direction
et vitesse.

Modèle d'intermittence

-> Variogramme.
-> Proportion pluie.

Modèle champ continu

-> Anamorphose.
-> Variogramme.
-> Dry drift.

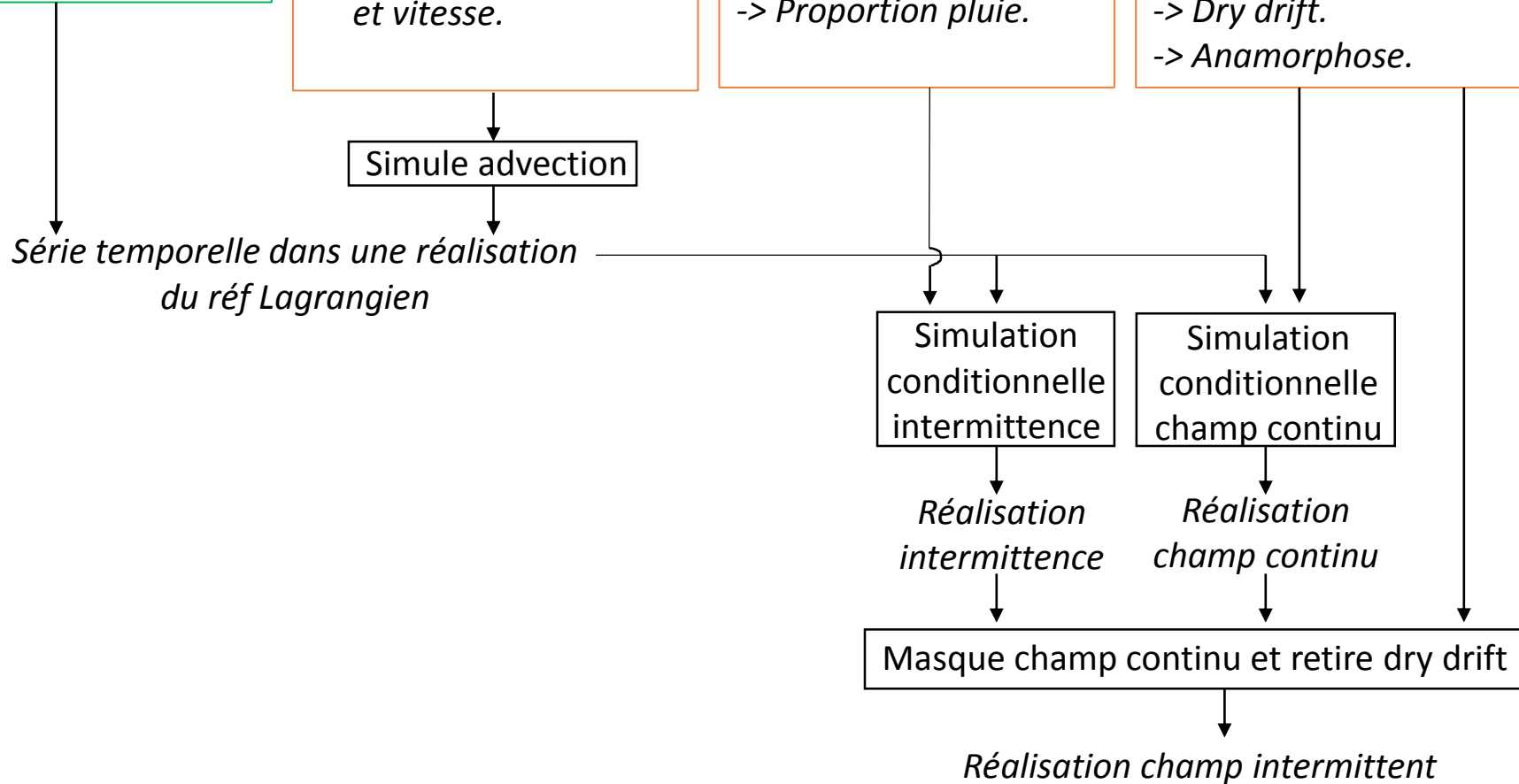
Simulation d'un ensemble de champs de pluie

Conditionnement
Séries temporelles brutes

Modèle d'advection
-> Pdf direction
et vitesse.

Modèle d'intermittence
-> Variogramme.
-> Proportion pluie.

Modèle champ continu
-> Variogramme.
-> Dry drift.
-> Anamorphose.



Simulation : Advection

Conditionnement
Séries temporelles brutes

Modèle d'advection
-> Pdf direction
et vitesse

Modèle d'intermittence
-> Variogramme.
-> Proportion pluie

Modèle champ continu
-> Variogramme.
-> Dry drift.
-> Anamorphose

Simule advection

*Série temporelle dans une réalisation
du réf Lagrangien*

Un couple (vitesse, direction) est tiré dans la pdf (supposée gaussienne) des paramètres de l'advection.

Les séries temporelles de pluie sont projetées dans le réf Lagrangien défini par ce couple (vitesse, direction).

Simulation
conditionnelle
intermittence

*Réalisation
intermittence*

Simulation
conditionnelle
champ continu

*Réalisation
champ continu*

Masque champ continu et retire dry drift

Réalisation champ intermittent

Simulation : Intermittence

Conditionnement
Séries temporelles brutes

Modèle d'advection
-> Pdf direction
et vitesse

Modèle d'intermittence
-> Variogramme.
-> Proportion pluie

Modèle champ continu
-> Variogramme.
-> Dry drift.
-> Anamorphose

Simule advection

*Série temporelle dans une réalisation
du réf Lagrangien*

Simulation conditionnelle.

Utilise Sequential Indicator Simulation (SIS)
=> Paramètres faciles à inférer.

Simulation
conditionnelle
intermittence

Simulation
conditionnelle
champ continu

*Réalisation
intermittence*

*Réalisation
champ continu*

Masque champ continu et retire dry drift

Réalisation champ intermittent

Simulation : Champ continu d'intensité de la pluie

Conditionnement
Séries temporelles brutes

Modèle d'advection
-> Pdf direction
et vitesse

Modèle d'intermittence
-> Variogramme.
-> Proportion pluie

Modèle champ continu
-> Variogramme.
-> Dry drift.
-> Anamorphose

Série temporelle dans une réalisation
du réf Lagrangien

Simule advection

Travaille sur les séries temporelles
anamorphosées.

Utilise FFT Moving average simulation et
conditionnement par krigeage.

Simulation
conditionnelle
intermittence

Réalisation
intermittence

Simulation
conditionnelle
champ continu

Réalisation
champ continu

Masque champ continu et retire dry drift

Réalisation champ intermittent

Simulation : reconstruction du champ de pluie intermittent

Conditionnement
Séries temporelles brutes

Modèle d'advection
-> Pdf direction
et vitesse

Modèle d'intermittence
-> Variogramme.
-> Proportion pluie

Modèle champ continu
-> Variogramme.
-> Dry drift.
-> Anamorphose

Simule advection

Série temporelle dans une réalisation
du réf Lagrangien

- 1) Masque champ continu par le champ d'indicateurs.
- 2) Ajoute Dry drift.
- 3) Anamorphose inverse.
- 4) Projection dans le référentiel de l'observateur (réf Eulerien).

Simulation
conditionnelle
intermittence

Réalisation
intermittence

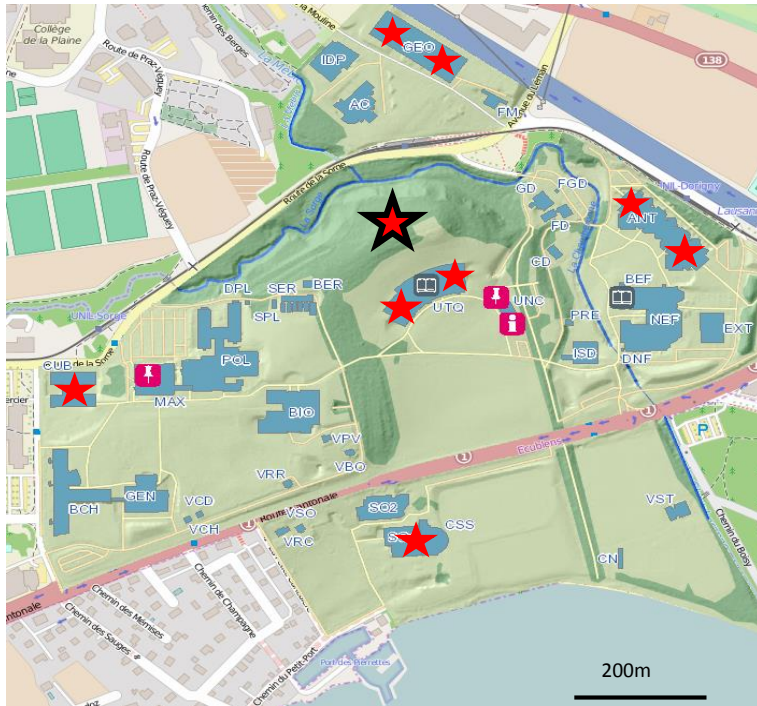
Simulation
conditionnelle
champ continu

Réalisation
champ continu

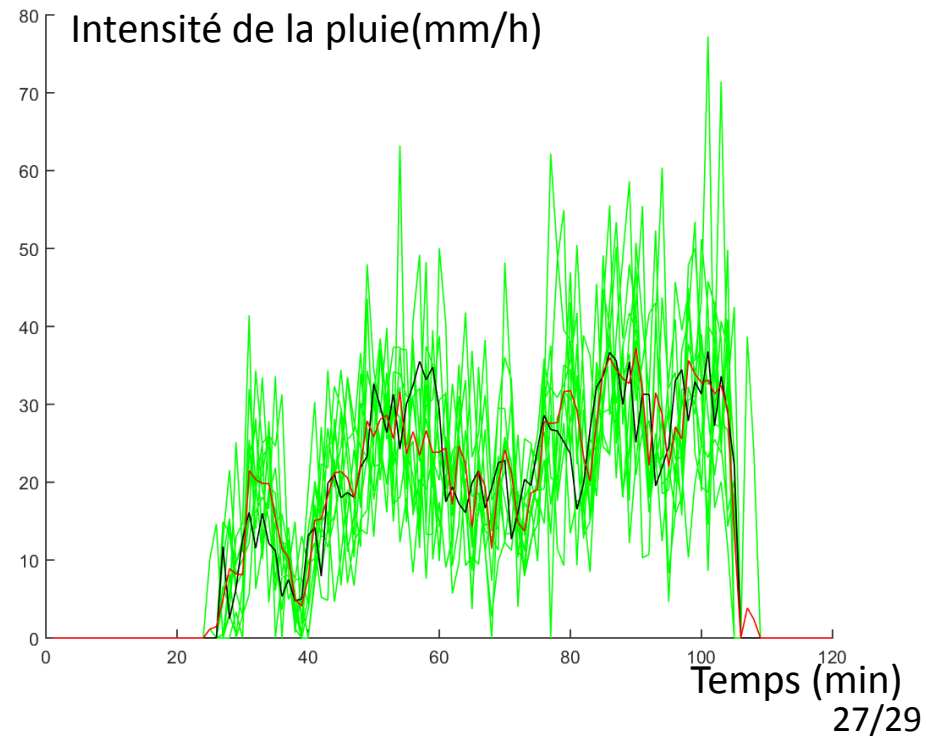
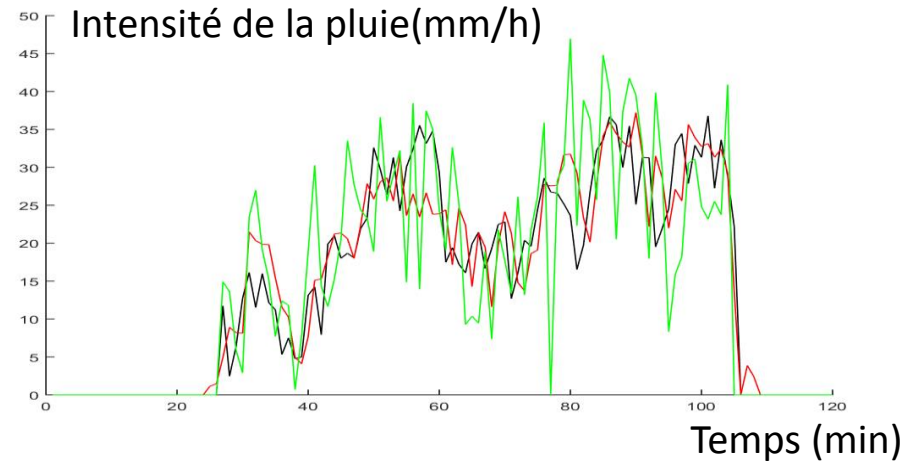
Masque champ continu et retire dry drift

Réalisation champ intermittent

Résultats

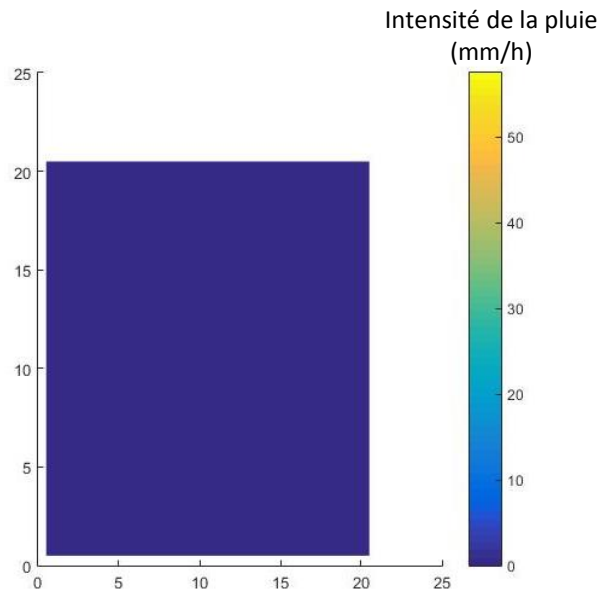


Noir : Réalité
Rouge : Moyenne 10 simulations
Vert : 1 simulation

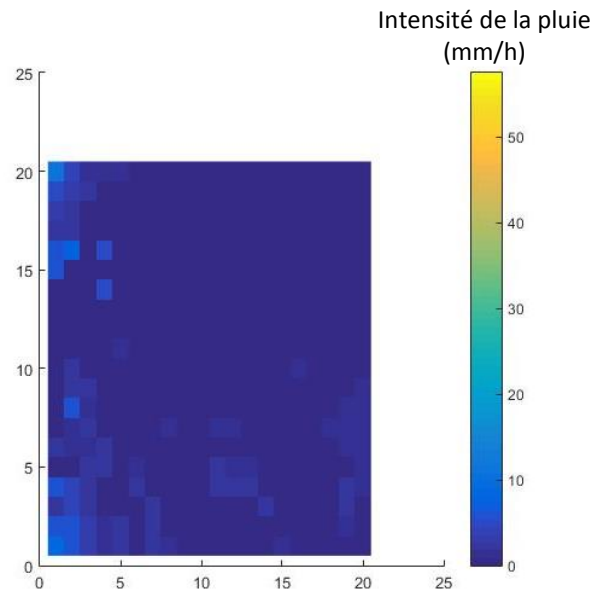


Résultats

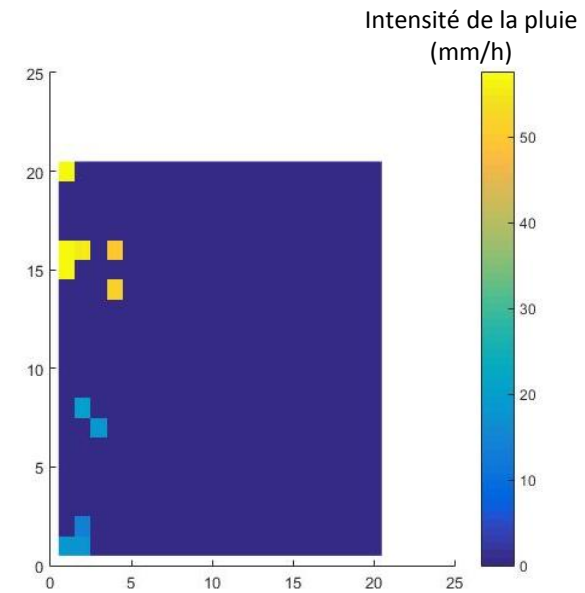
Champ de référence
(«réalité»)



Champ estimé
(moyenne 10 simulations)

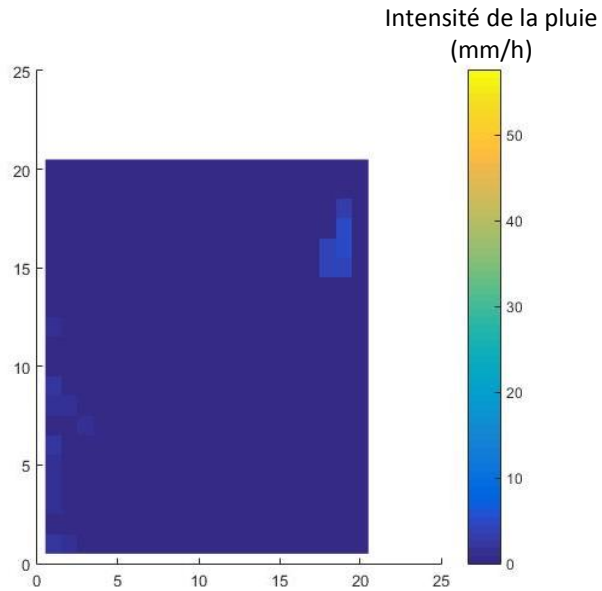


Champ simulé

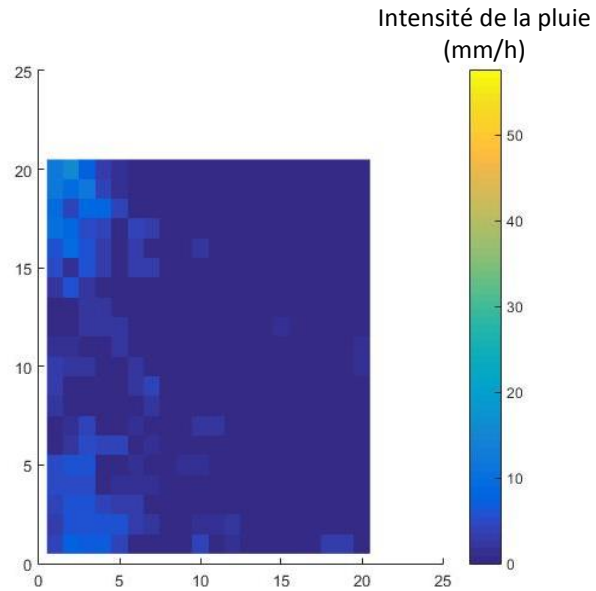


Résultats

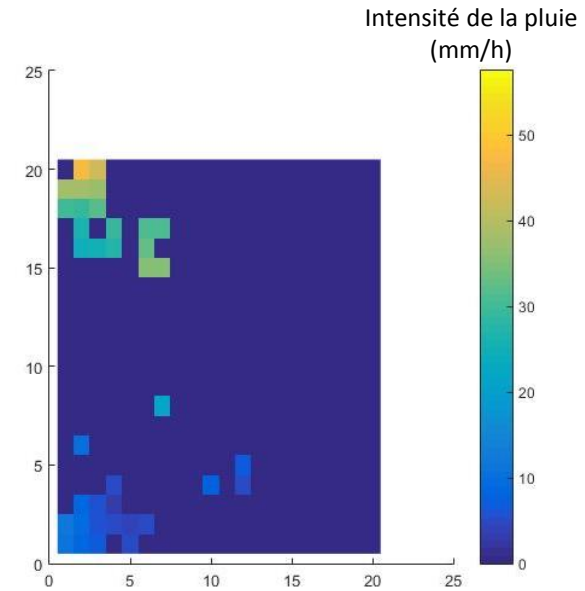
Champ de référence
(«réalité»)



Champ estimé
(moyenne 10 simulations)



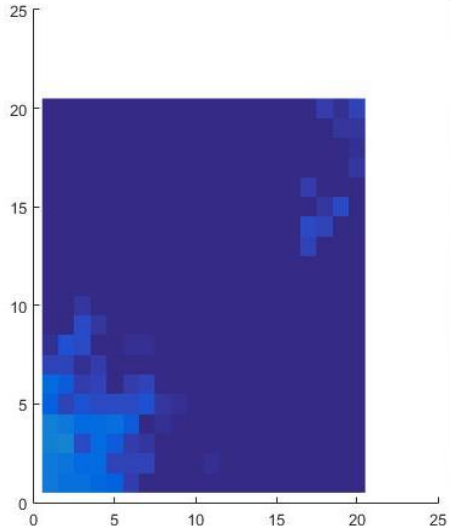
Champ simulé



Résultats

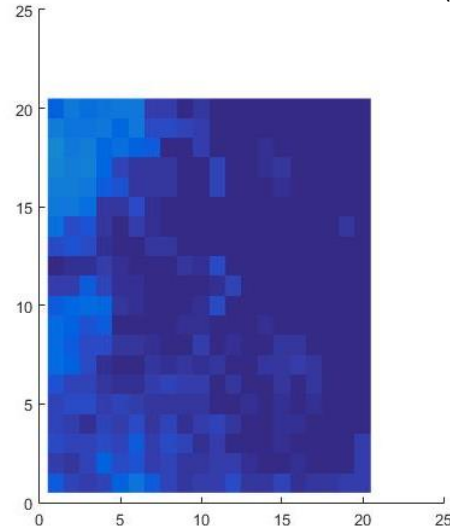
Champ de référence
(«réalité»)

Intensité de la pluie
(mm/h)



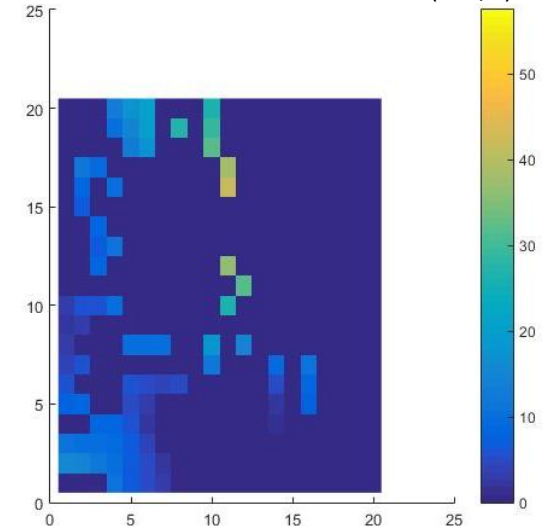
Champ estimé
(moyenne 10 simulations)

Intensité de la pluie
(mm/h)



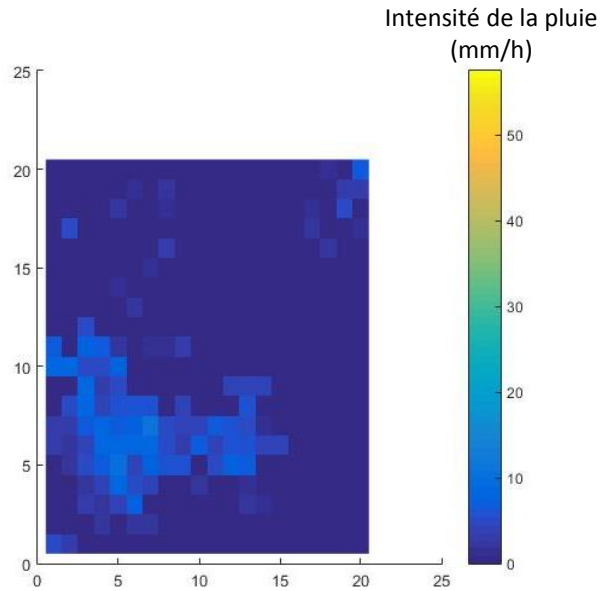
Champ simulé

Intensité de la pluie
(mm/h)

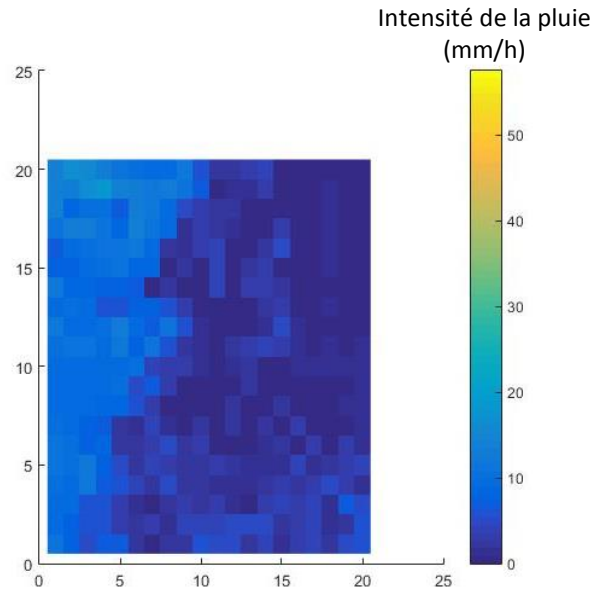


Résultats

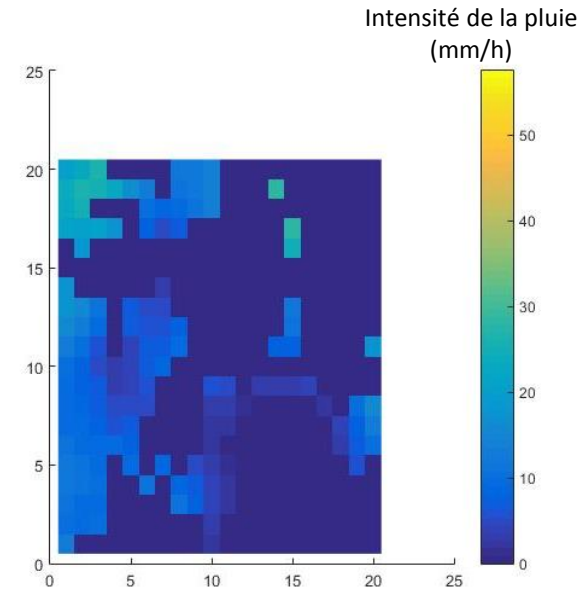
Champ de référence
(«réalité»)



Champ estimé
(moyenne 10 simulations)

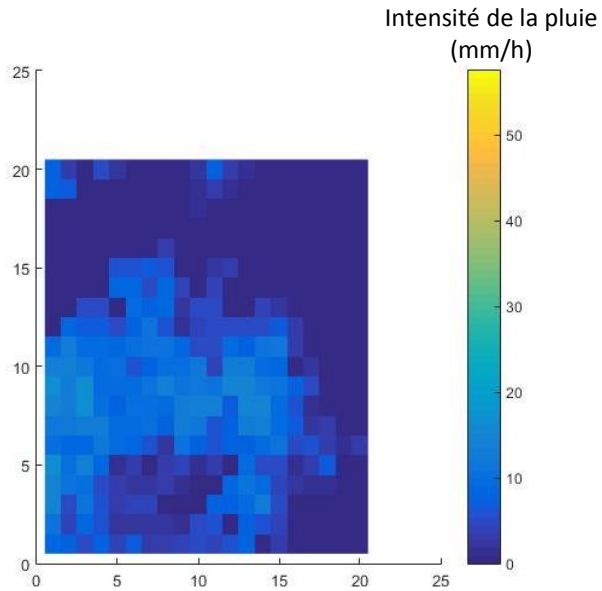


Champ simulé

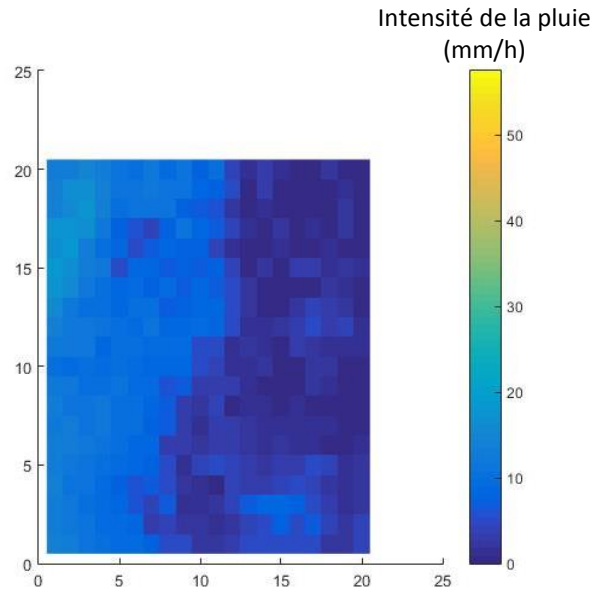


Résultats

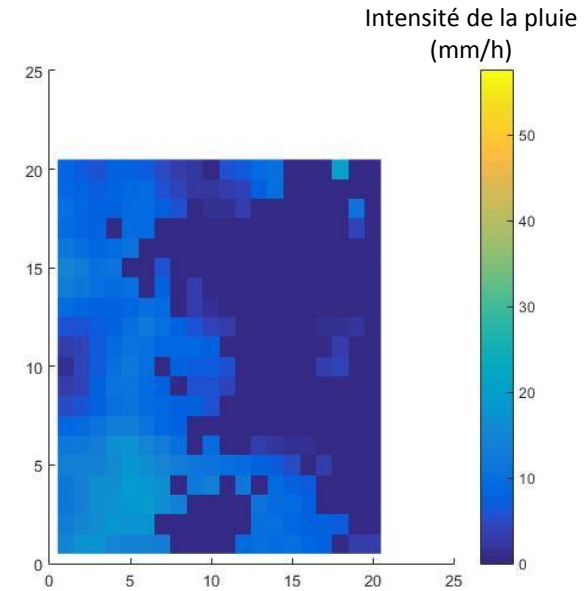
Champ de référence
(«réalité»)



Champ estimé
(moyenne 10 simulations)

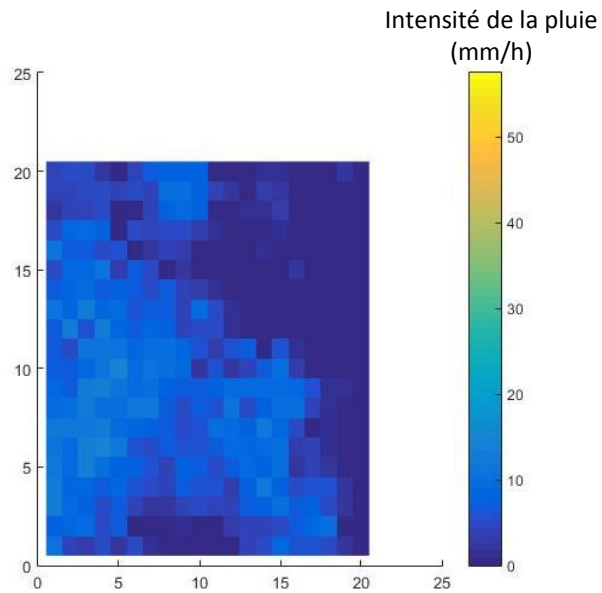


Champ simulé

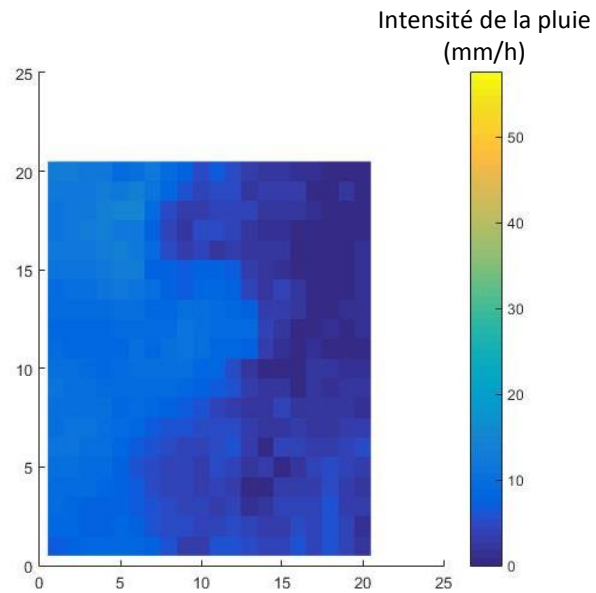


Résultats

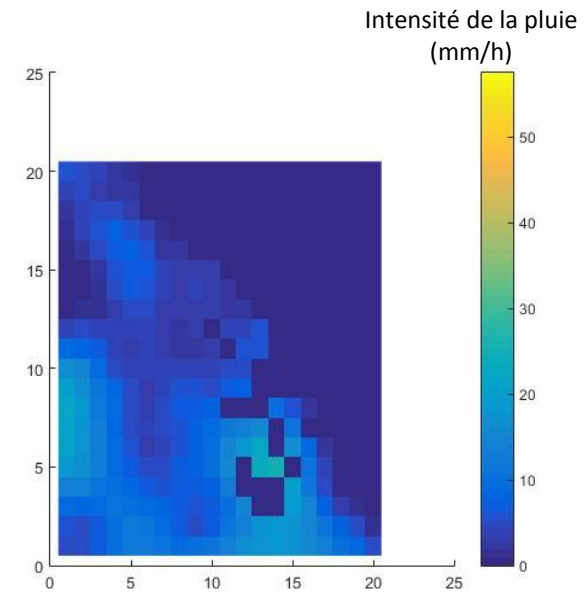
Champ de référence
(«réalité»)



Champ estimé
(moyenne 10 simulations)

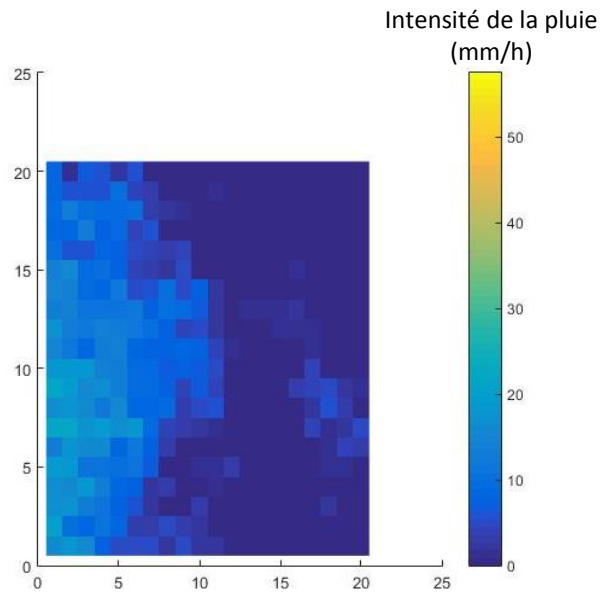


Champ simulé

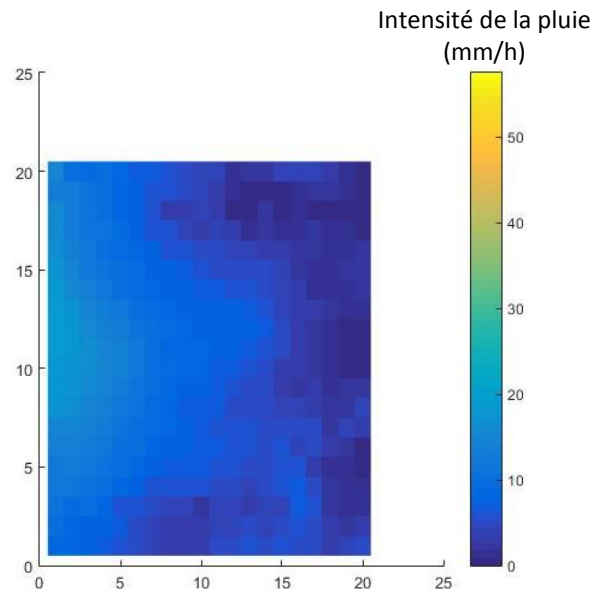


Résultats

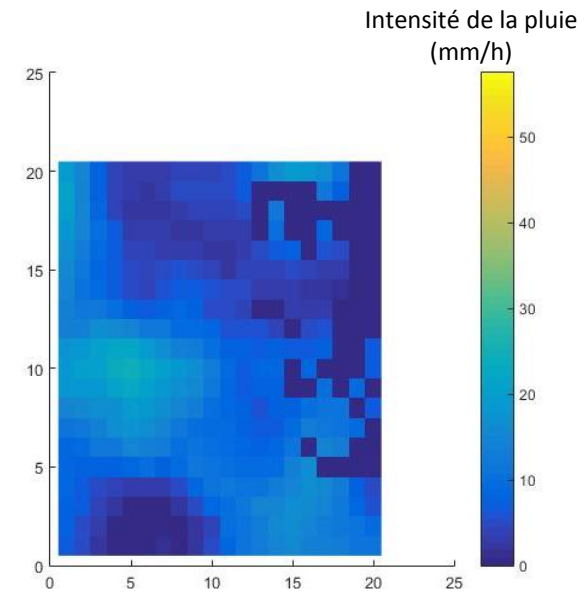
Champ de référence
(«réalité»)



Champ estimé
(moyenne 10 simulations)

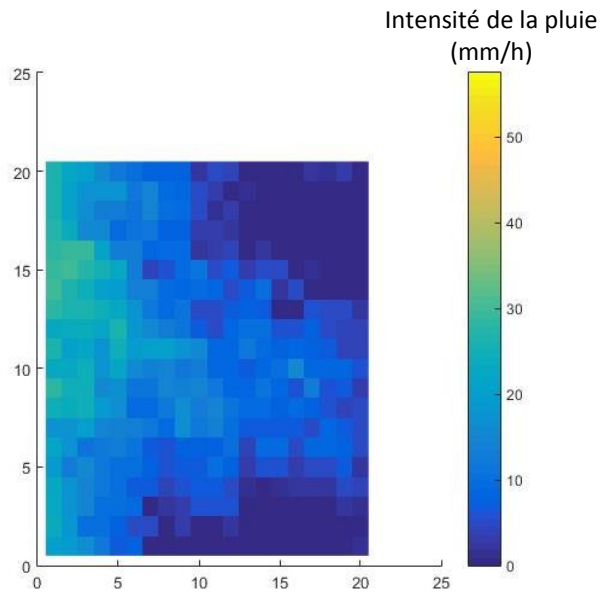


Champ simulé

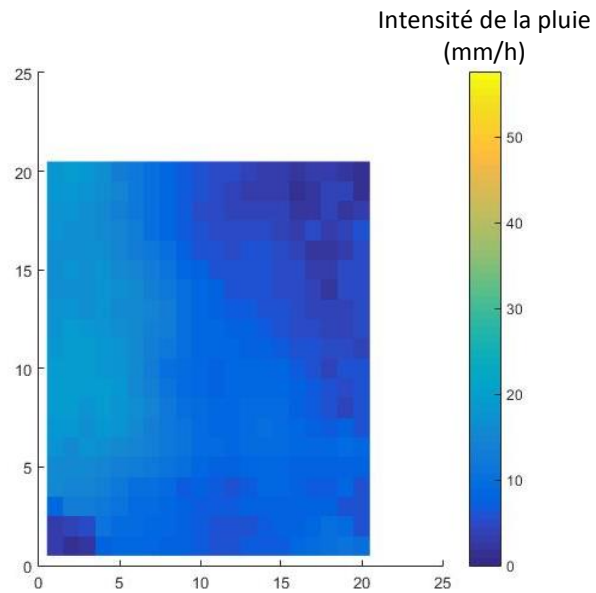


Résultats

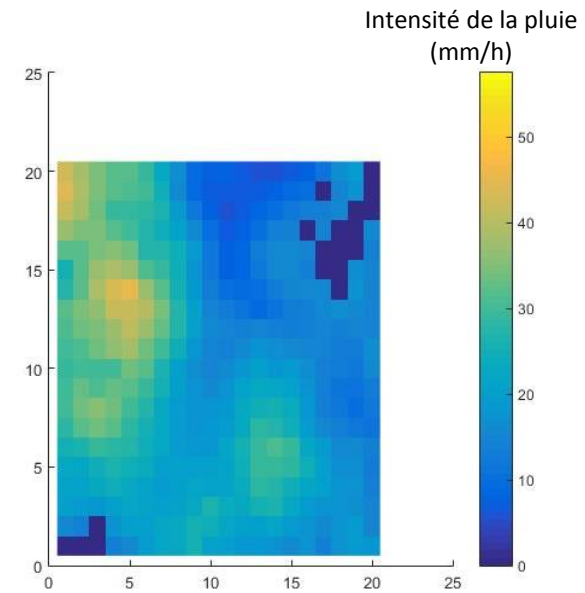
Champ de référence
(«réalité»)



Champ estimé
(moyenne 10 simulations)

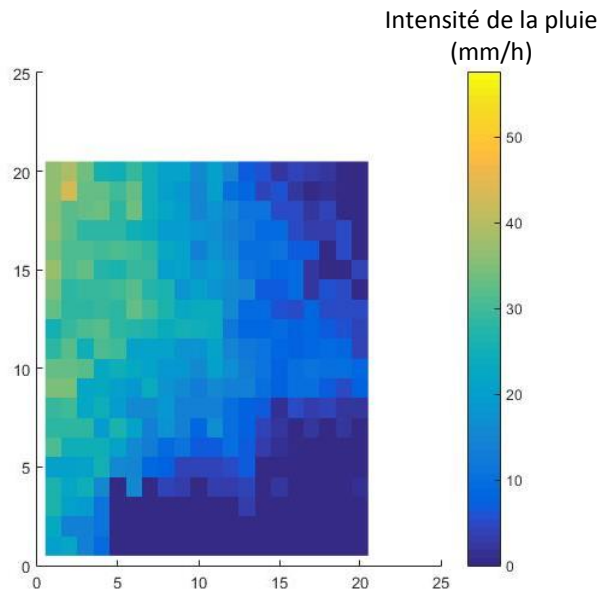


Champ simulé

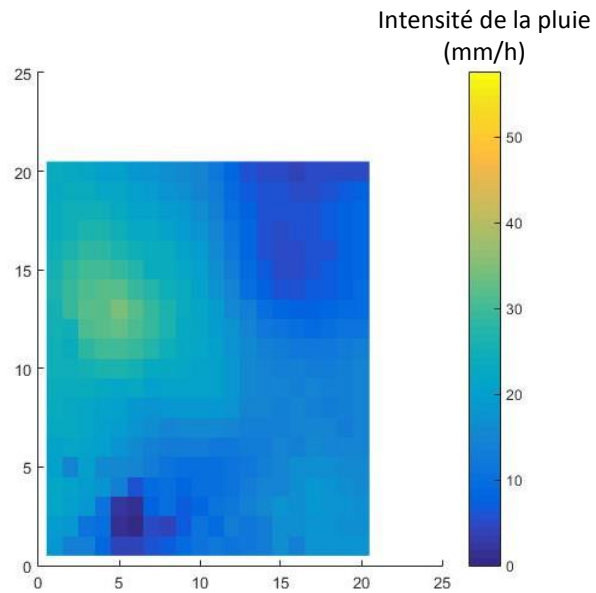


Résultats

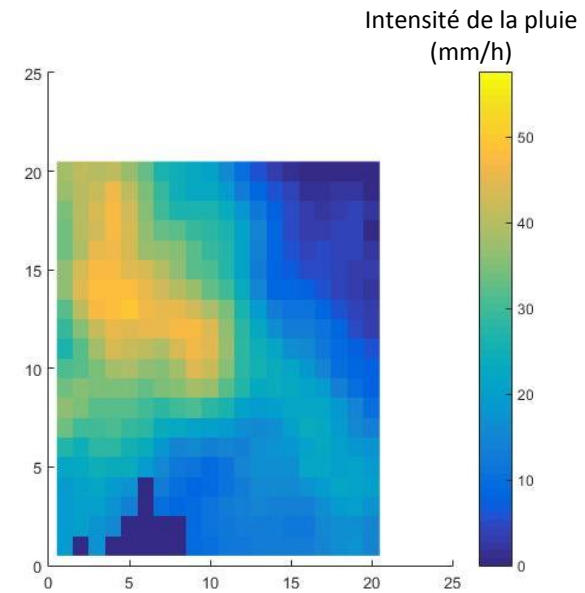
Champ de référence
(«réalité»)



Champ estimé
(moyenne 10 simulations)

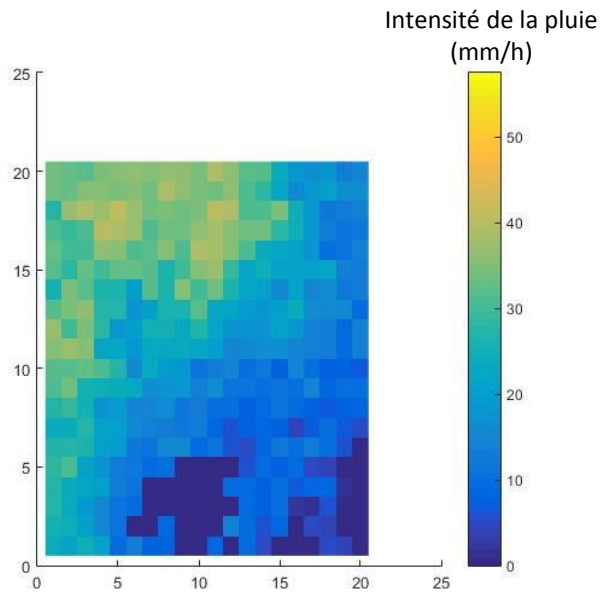


Champ simulé

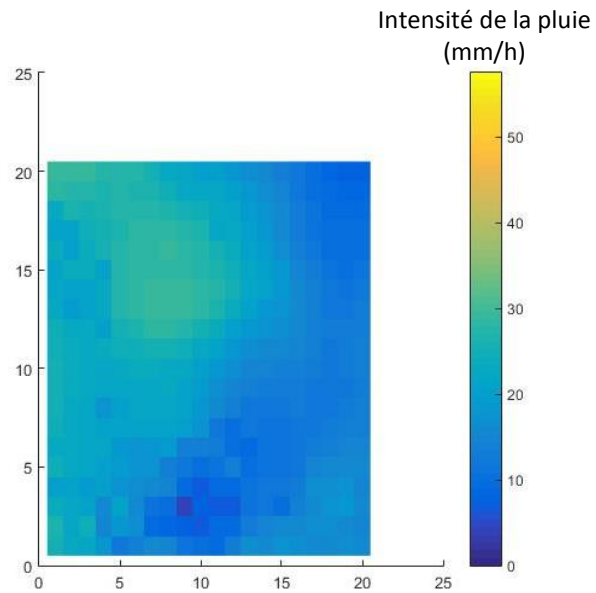


Résultats

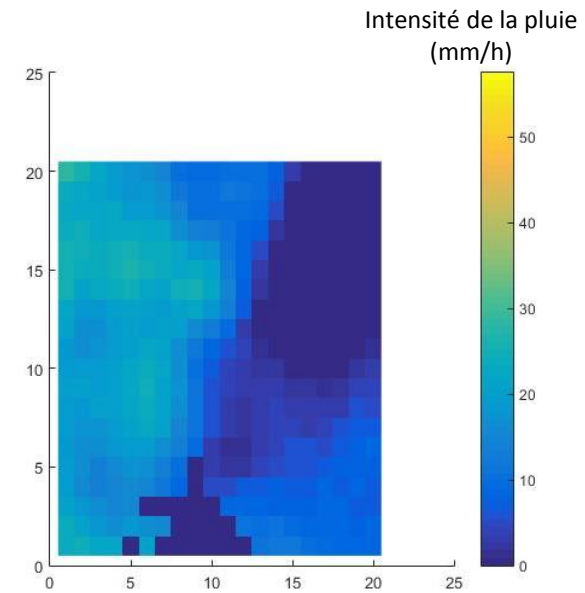
Champ de référence
(«réalité»)



Champ estimé
(moyenne 10 simulations)

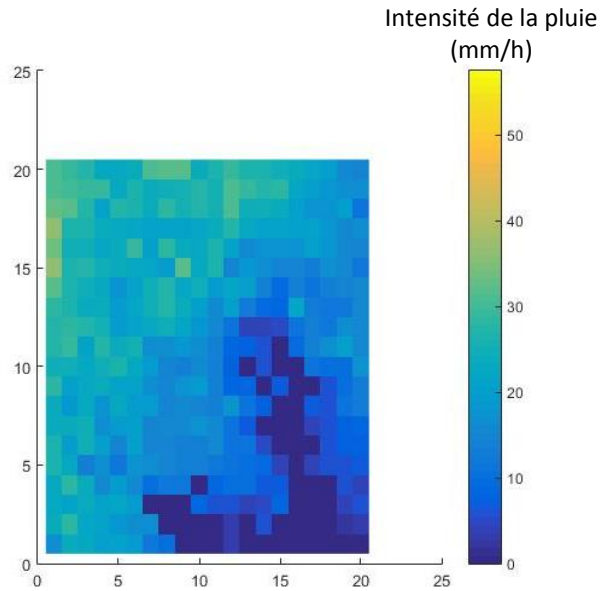


Champ simulé

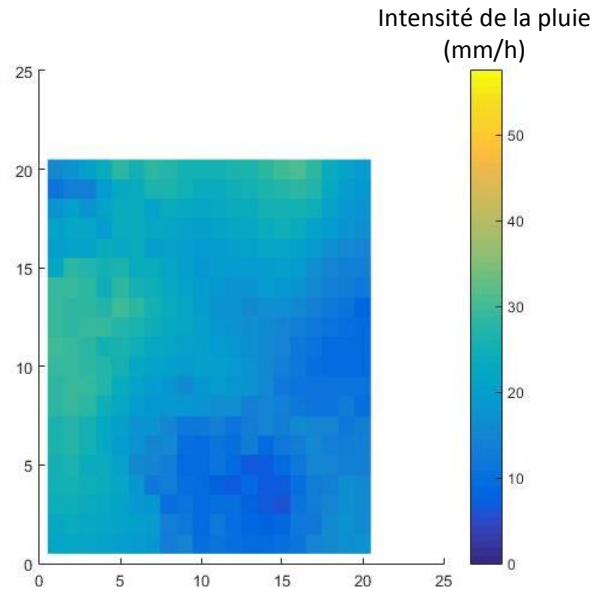


Résultats

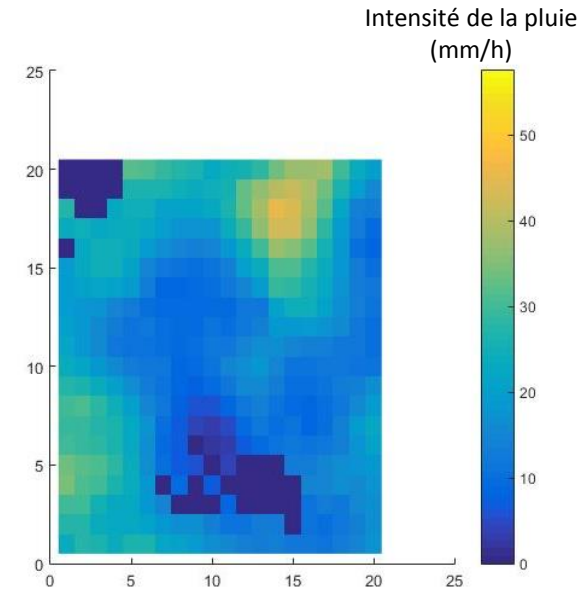
Champ de référence
(«réalité»)



Champ estimé
(moyenne 10 simulations)

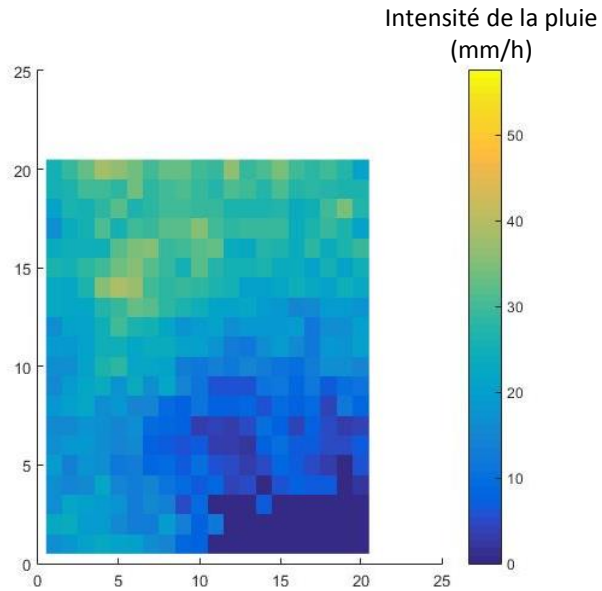


Champ simulé

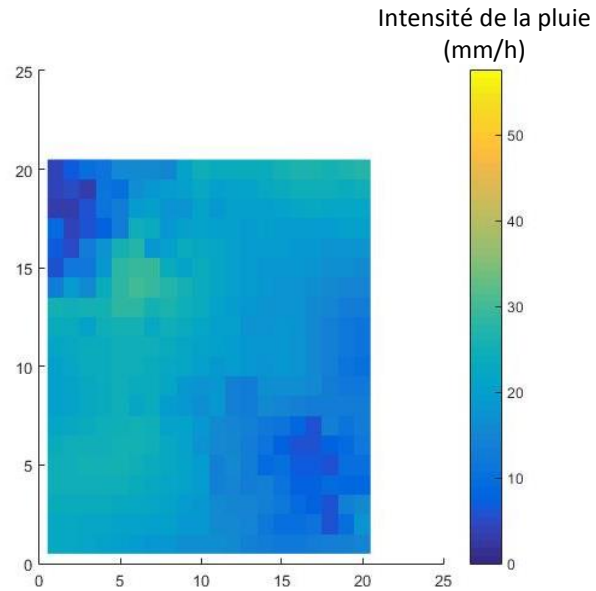


Résultats

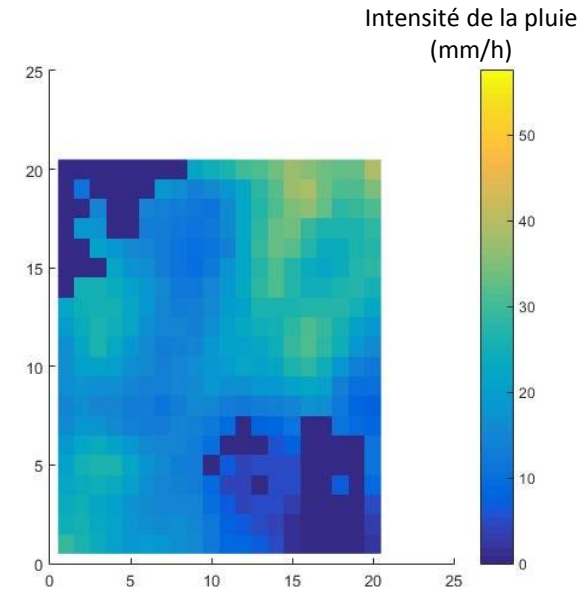
Champ de référence
(«réalité»)



Champ estimé
(moyenne 10 simulations)

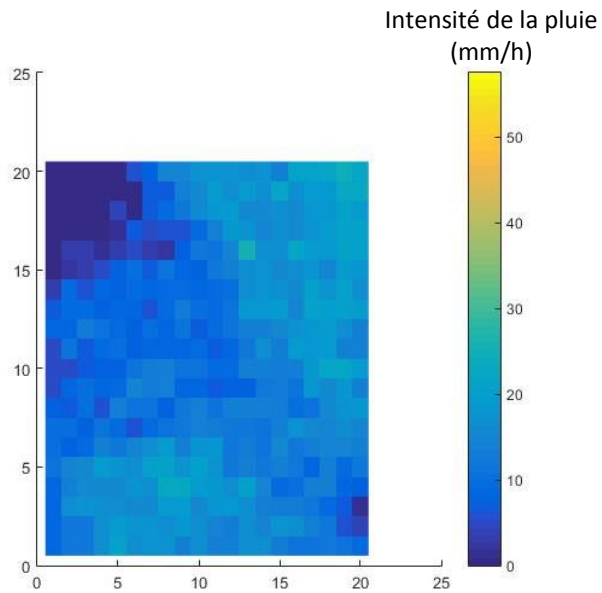


Champ simulé

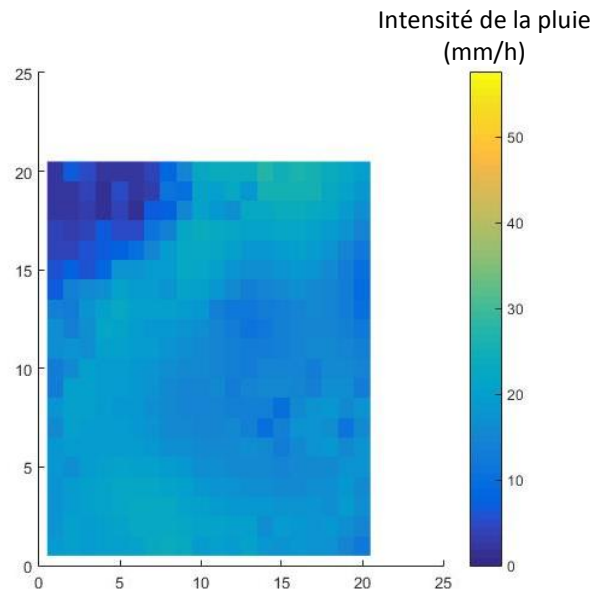


Résultats

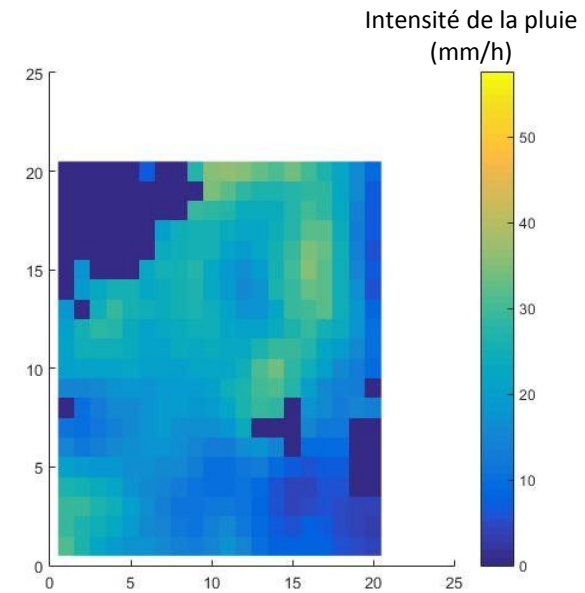
Champ de référence
(«réalité»)



Champ estimé
(moyenne 10 simulations)

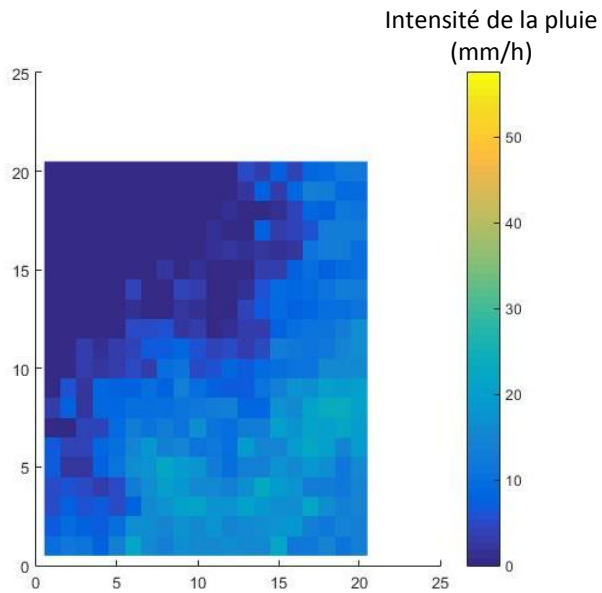


Champ simulé

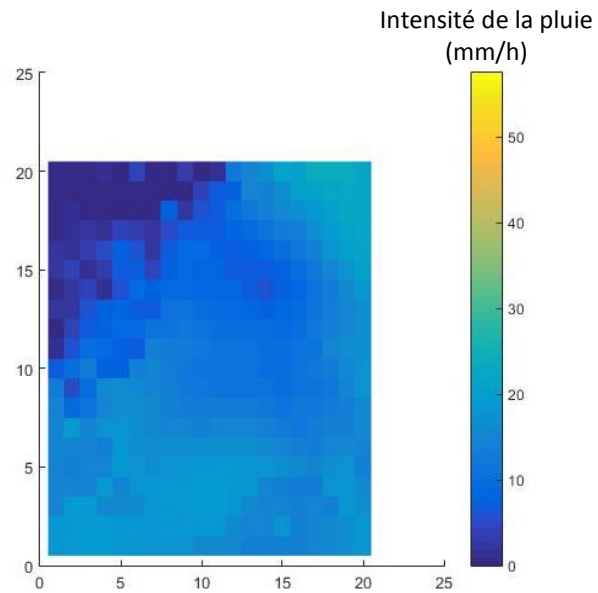


Résultats

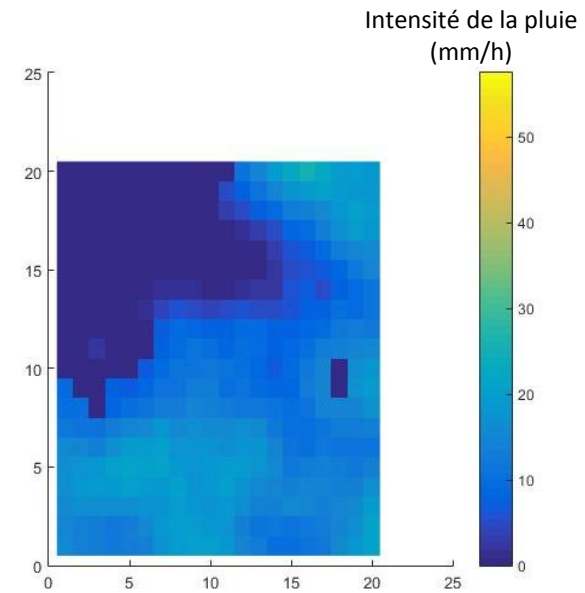
Champ de référence
(«réalité»)



Champ estimé
(moyenne 10 simulations)

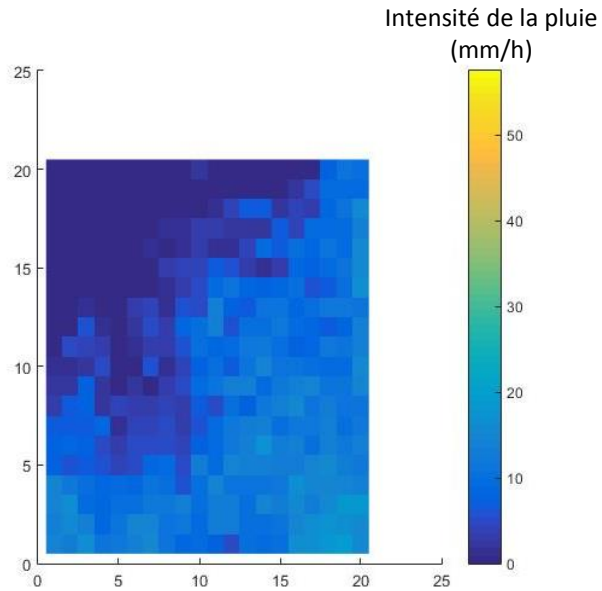


Champ simulé

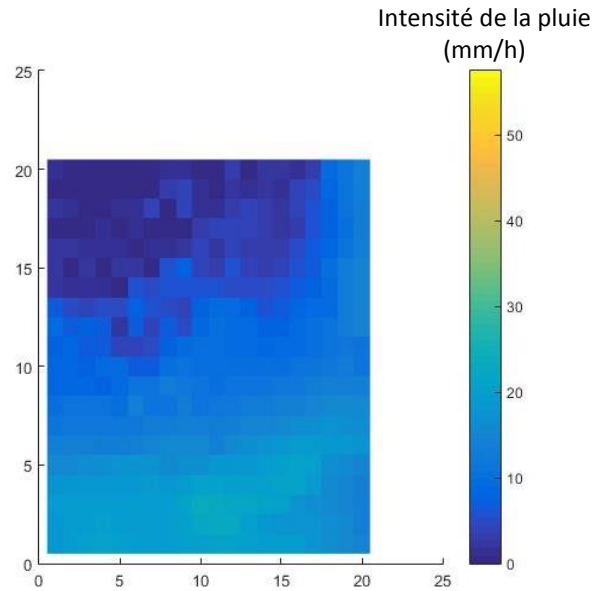


Résultats

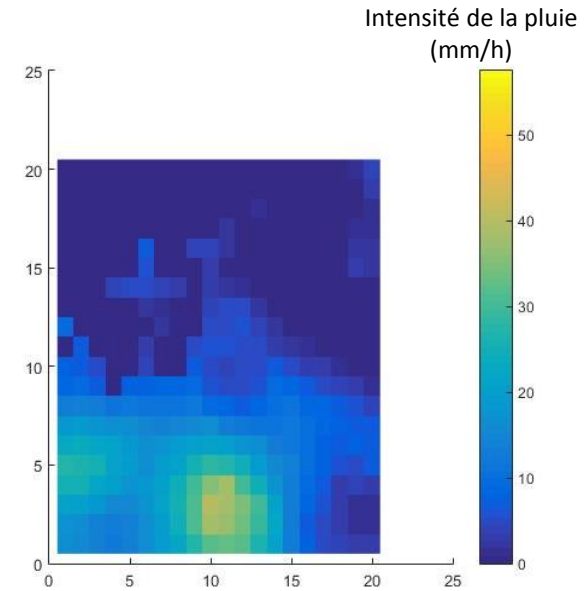
Champ de référence
(«réalité»)



Champ estimé
(moyenne 10 simulations)



Champ simulé



Conclusion / perspectives

Conclusion :

- Méthode de reconstruction du champ de pluie à partir d'un nouvel instrument : Réseau de pluviomètres haute-résolution.
- Méthode basée sur des géostatistiques spatio-temporelles.
- Permet d'intégrer des observations de coordonnées quelconques dans l'espace et le temps.

Perspectives :

- Améliorer la variographie (Rt, N...).
- Utiliser des données réelles.
- Assimiler différentes sources de données :
 - > Compte goutte monté sur un drone.
 - > Radar.
 - > Pluviomètre tipping-bucket.



Merci de votre attention!

Questions?

