

Détection de Changement Robuste en Rang Faible pour les Séries Temporelles d'Images SAR

Ammar Mian^{1,2} Arnaud Breloy³ Guillaume Ginolhac² Jean-Philippe Ovarlez^{1,4}

¹SONDRA, CentraleSupélec ²LISTIC, Université Savoie Mont-Blanc ³LEME, Université Paris-Nanterre ⁴DEMRA ONERA, Université Paris-Saclay

I. Motivations

La détection de changements est utile pour de nombreuses applications:

- Civiles: Suivi de désastres naturels, Étude du réchauffement climatique, etc
- Militaires: Monitoring de zones sensibles

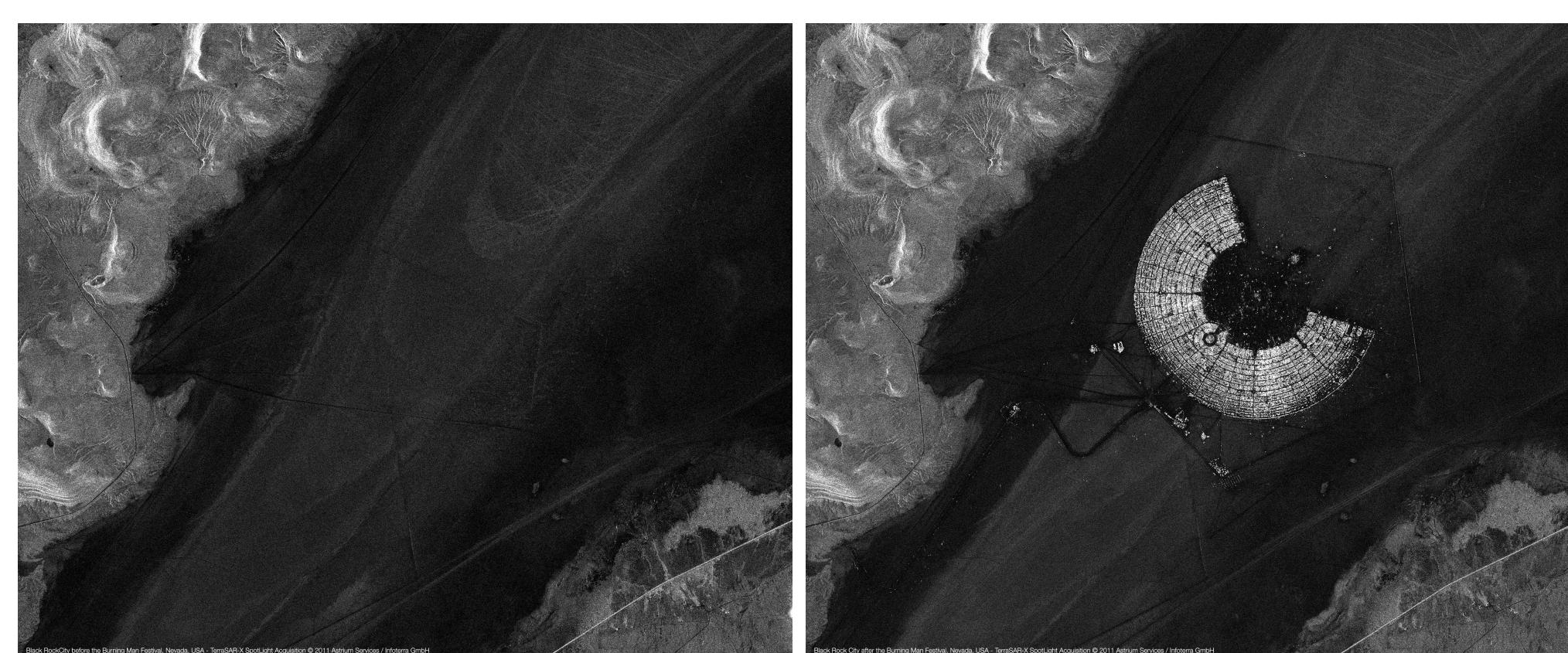


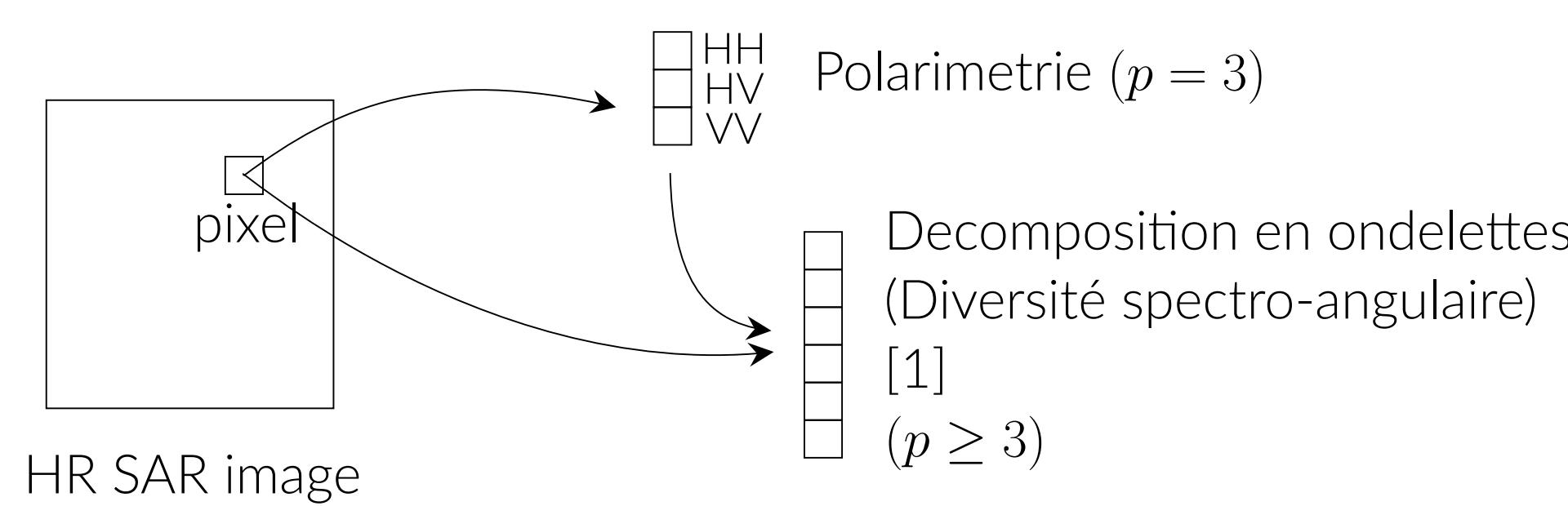
Figure 1. Images SAR du festival Burning man avant l'installation (Gauche) et après (Droite)

Problèmes à considérer:

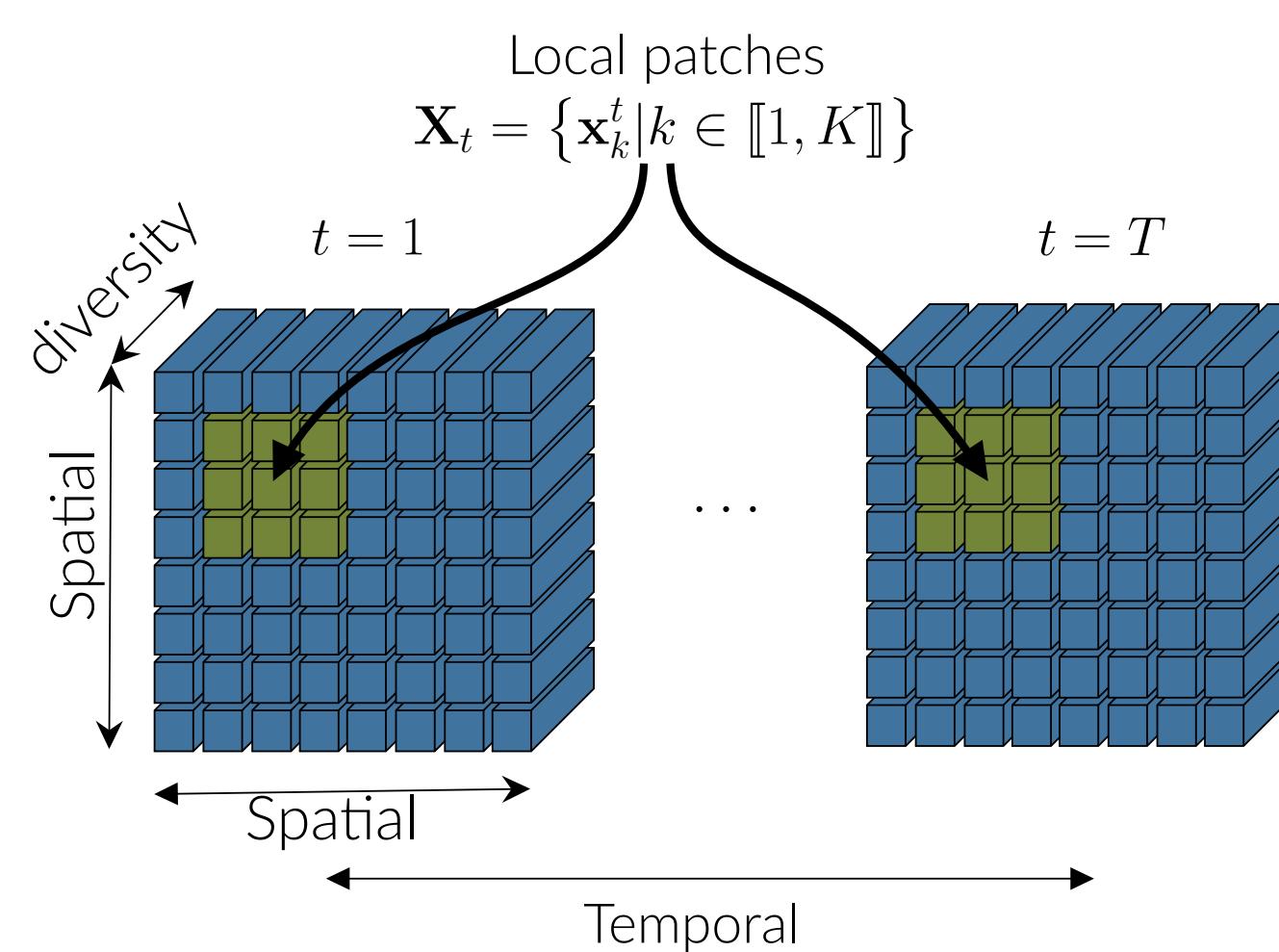
- Quantité massives de données → Procédé automatique !
- Données non-annotées → Algorithme non-supervisé !

II. Données

- Radar à Synthèse d'Ouverture (SAR): Très haute résolution et indépendant des conditions d'illumination et de la météo. Données **complexes** et soumises au bruit de **speckle**.
- Données multivariées : utiliser la diversité disponible pour améliorer la détection.



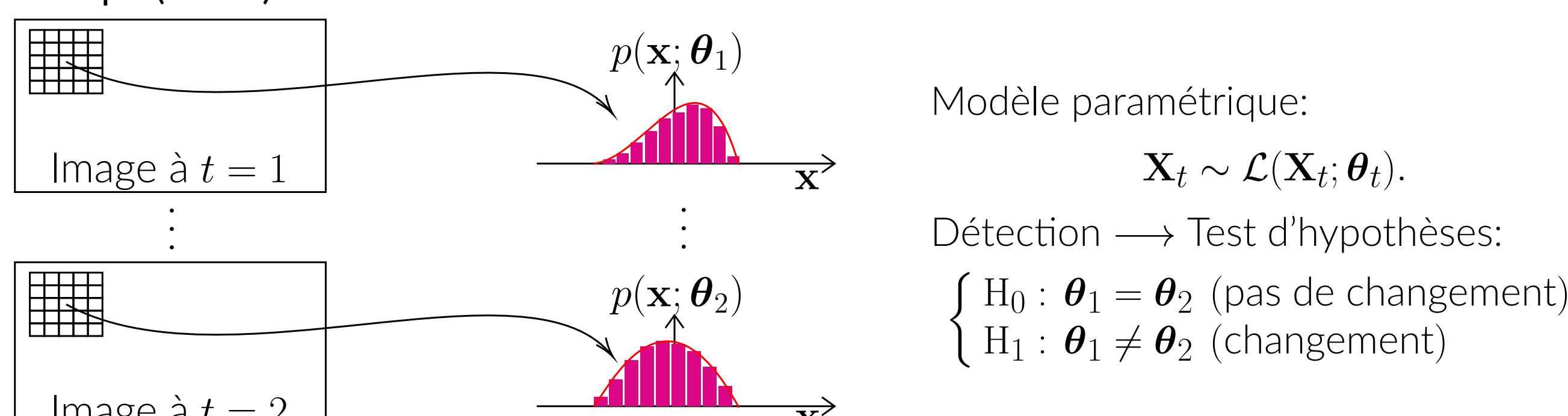
- Représentation de la série temporelle :



III. Détection de changement par approche statistique

- Intérêt : Adapté au multivarié, prends en compte un modèle physique pour la donnée et le bruit, résultats garantis par une littérature riche.

- Principe ($T = 2$):



- Test du Ratio de Vraisemblance Généralisé (TRVG):

$$\frac{\max_{\theta_1, \theta_2} \mathcal{L}(\{\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2\}; \{\theta_1, \theta_2\})}{\max_{\theta_0} \mathcal{L}(\{\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2\}; \theta_0)} \underset{\mathcal{H}_1}{\gtrapprox} \lambda_{\text{TRVG}}.$$

Problèmes :

- Spécifier \mathcal{L} et θ pour assurer un compromis adéquation/robustesse aux données d'entrées.
- Choisir un modèle permettant de calculer le TRVG de manière efficiente.

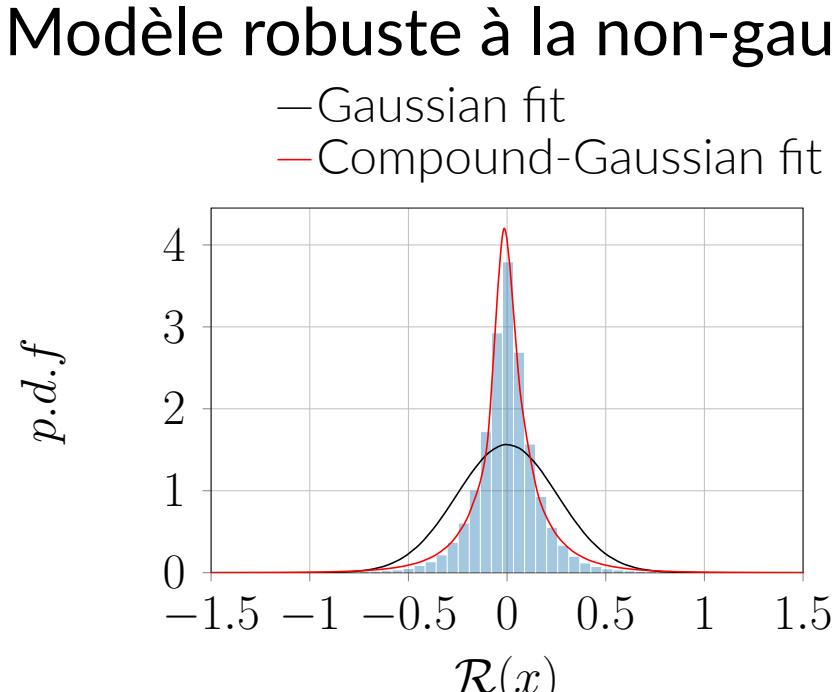
IV. Approche par matrice de covariance

- Papier de référence [2] : Choix d'un modèle gaussien: $\mathbf{x} \sim \mathbb{C}\mathcal{N}(\mathbf{0}_p, \Sigma)$.

Modèle :

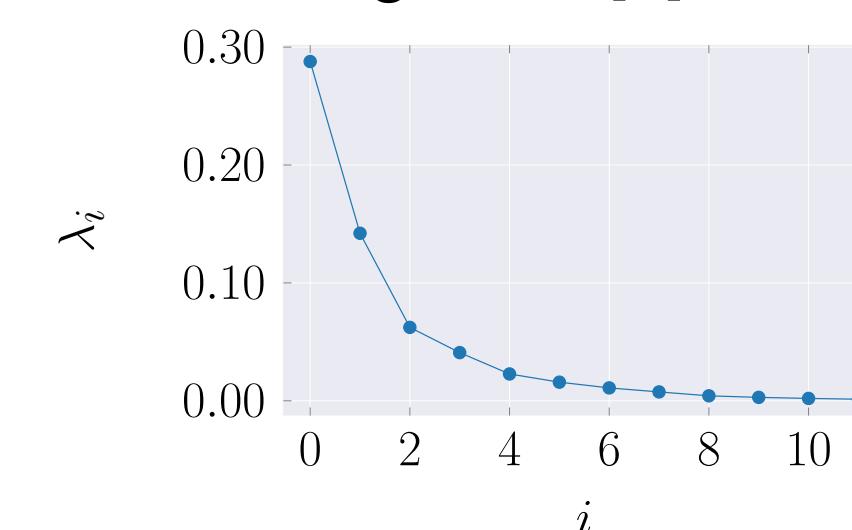
$$\theta = \Sigma \quad \hat{\Lambda}_G = \frac{\left| \frac{1}{2} (\hat{\Sigma}_1 + \hat{\Sigma}_2) \right|^2}{\left| \hat{\Sigma}_1 \right| \left| \hat{\Sigma}_2 \right|}, \text{ où } \hat{\Sigma}_t = \mathbf{X}_t \mathbf{X}_t^H / K.$$

- Modèle robuste à la non-gaussianité [3] : $\mathbf{x}_k \sim \mathbb{C}\mathcal{N}(\mathbf{0}_p, \tau_k \Sigma)$.



Fitting sur une image UAVSAR

- Modèle rang-faible [4] : $\mathbf{x} \sim \mathbb{C}\mathcal{N}(\mathbf{0}_p, \Sigma_R + \sigma^2 \mathbf{I})$.



Valeur propres UAVSAR

$\theta = \Sigma_R$, avec $\text{rang}(\Sigma_R) = R$

$$\mathcal{L}(\mathbf{X}; \Sigma, \{\tau_k\}) \propto |\Sigma_R + \sigma^2 \mathbf{I}|^{-K} \exp \left\{ -\frac{\mathbf{x}_k^H (\Sigma_R + \sigma^2 \mathbf{I})^{-1} \mathbf{x}_k}{\tau_k} \right\}.$$

IV. Approche proposée: Robuste + Rang-Faible

Modèle : $\mathbf{x}_k \sim \mathbb{C}\mathcal{N}(\mathbf{0}_p, \tau_k (\Sigma_R + \sigma^2 \mathbf{I}))$.

$\theta = \{\Sigma_R, \{\tau_k\}\}$ avec $\text{rang}(\Sigma_R) = R$

$$\mathcal{L}(\mathbf{X}; \Sigma, \{\tau_k\}) \propto \prod_{k=1}^K |\tau_k (\Sigma_R + \sigma^2 \mathbf{I})|^{-1} \exp \left\{ -\frac{\mathbf{x}_k^H (\Sigma_R + \sigma^2 \mathbf{I})^{-1} \mathbf{x}_k}{\tau_k} \right\}.$$

Calcul : algorithme block coordinate descent (BCD) pour l'optimisation

Algorithm 1 BCD pour MLEs sous H_1

Input: $\{\mathbf{x}_k^t\}$ with $t \in \{1, 2\}$

repeat

$$\tau_k^t = \left((\mathbf{x}_k^t)^H \Sigma_t^{-1} \mathbf{x}_k^t \right) / p$$

$$\Sigma_t = \mathcal{T} \left\{ \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \frac{\mathbf{x}_k^t (\mathbf{x}_k^t)^H}{\tau_k^t} \right\}$$

until convergence

Output: $\{\hat{\Sigma}_t, \{\hat{\tau}_k^t\}\}$

Algorithm 2 BCD pour MLE sous H_0

Input: $\{\mathbf{x}_k^1, \mathbf{x}_k^2\}$

repeat

$$\tau_k^0 = \left((\mathbf{x}_k^1)^H \Sigma_0^{-1} \mathbf{x}_k^1 + (\mathbf{x}_k^2)^H \Sigma_0^{-1} \mathbf{x}_k^2 \right) / 2p$$

$$\Sigma_0 = \mathcal{T} \left\{ \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \frac{\mathbf{x}_k^1 (\mathbf{x}_k^1)^H + \mathbf{x}_k^2 (\mathbf{x}_k^2)^H}{2\tau_k^0} \right\}$$

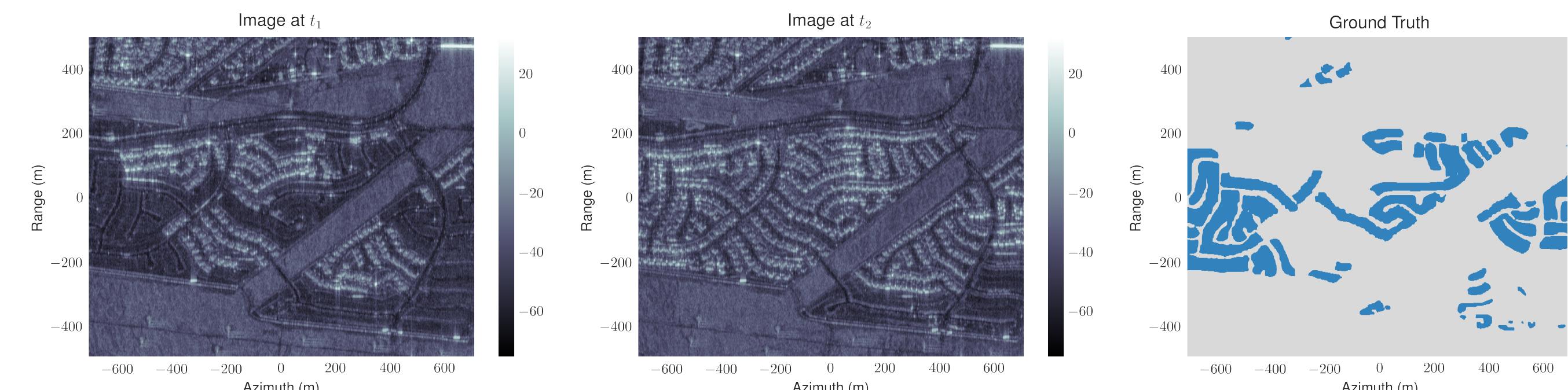
until convergence

Output: $\{\hat{\Sigma}_0, \{\hat{\tau}_k^0\}\}$

$$\frac{\mathcal{L}_{H_1} \left(\{\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2\}; \{\hat{\Sigma}_1, \hat{\Sigma}_2, \{\hat{\tau}_k^1\}, \{\hat{\tau}_k^2\}\} \right)}{\mathcal{L}_{H_0} \left(\{\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2\}; \{\hat{\Sigma}_0, \{\hat{\tau}_k^0\}\} \right)} \underset{H_1}{\gtrapprox} \lambda_{\text{GLRT}}, \underset{H_0}{\gtrapprox} \lambda_{\text{GLRT}}.$$

V. Résultats

- Jeu de données: Paire d'images UAVSAR (Polarimetrie et Décomposition en ondelettes → $p = 12$)



Choix du rang: $R = 3$ et estimation de σ^2 sur les dernières valeur propres.

- Résultats bruts (fenêtre 5x5):

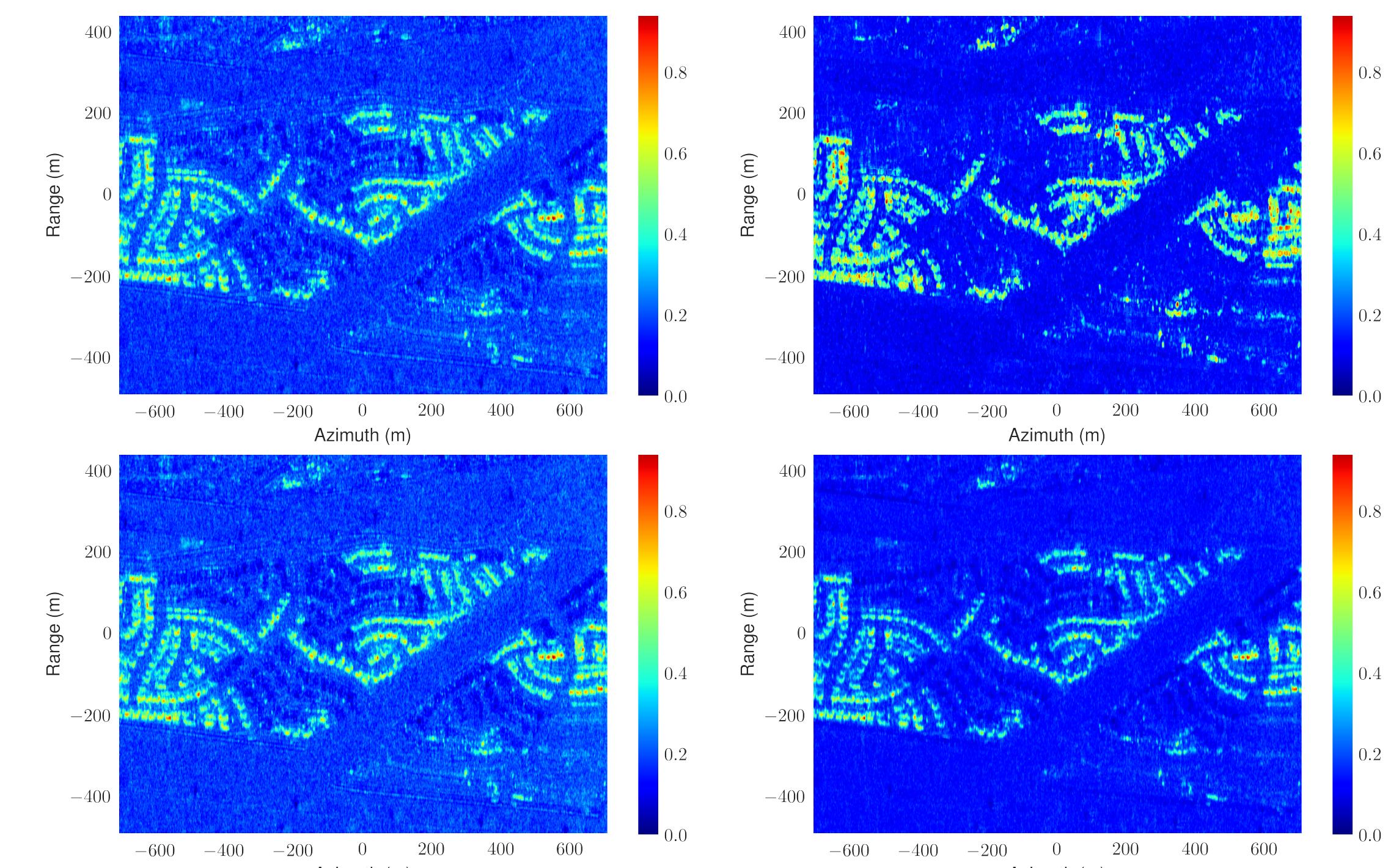


Figure 2. Haut-Gauche: Gaussien. Haut-Droite: Gaussien rang-faible. Bas-Gauche: Robuste. Bas-Droite: Robuste rang-faible (proposé).

- Courbes de performances:

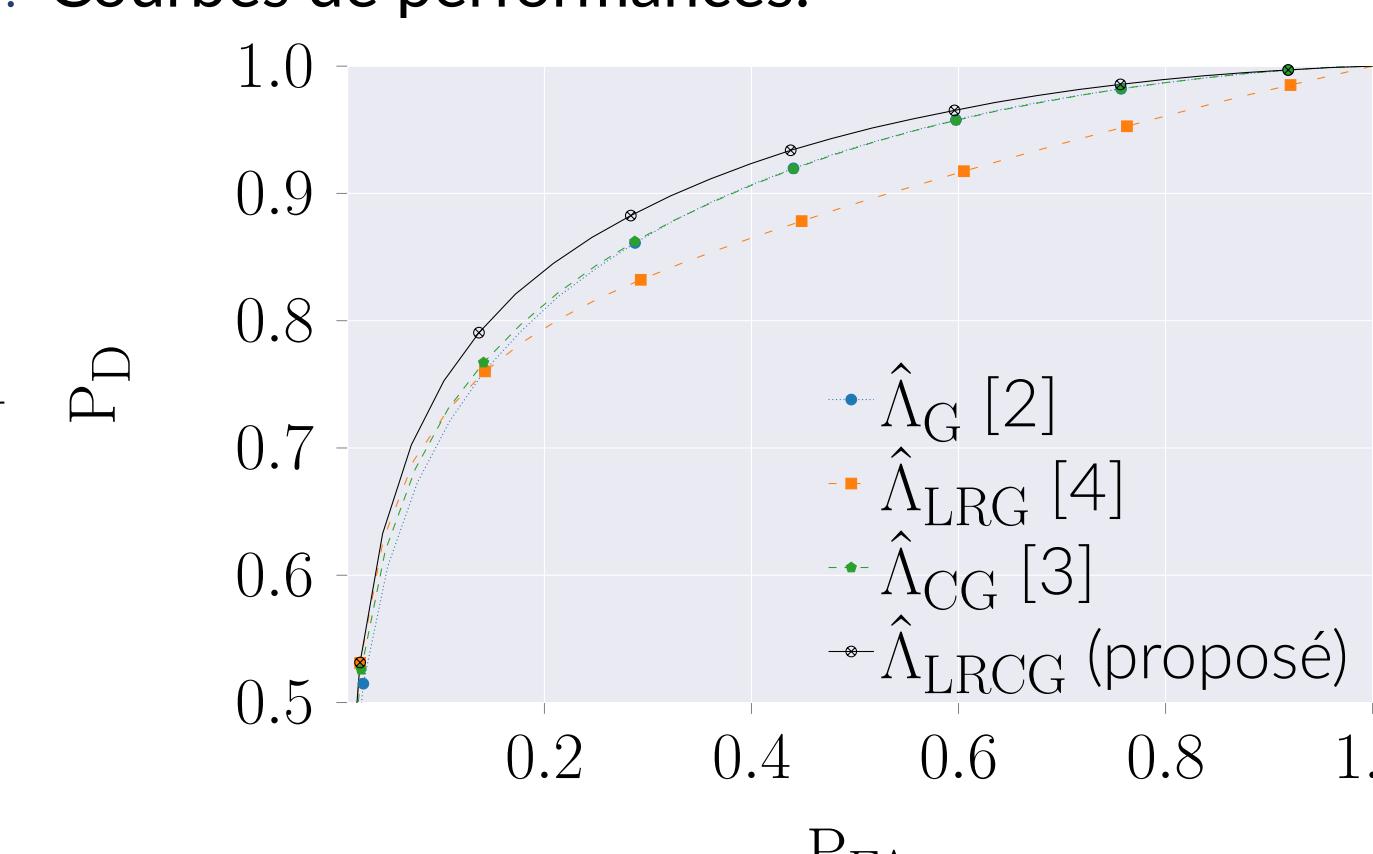


Figure 3. Probabilité de détection P_D contre probabilité de fausse alarme P_{FA} avec ($p = 12, N = 25, R = 3$)

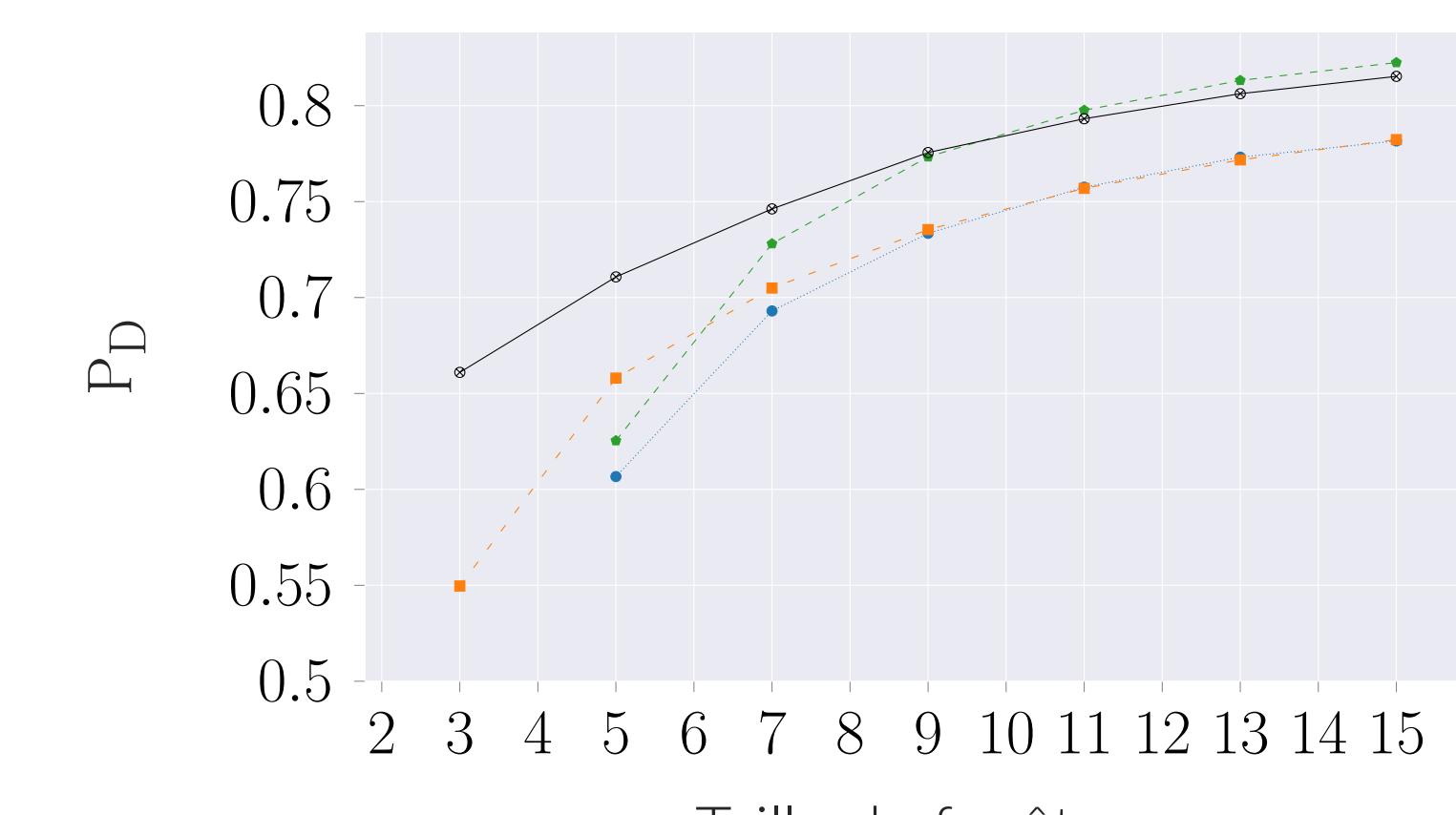


Figure 4. P_D contre taille de fenêtre à $P_{FA} = 5\%$ with ($p = 12, R = 3$)

Bibliographie

- A. Mian, J.-P. Ovarlez, A. M. Atto, and G. Ginolhac, "Design of new wavelet packets adapted to high-resolution SAR images with an application to target detection," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2019.
- K. Conradien, A. A. Nielsen, J. Schou, and H. Skriver, "A test statistic in the complex Wishart distribution and its application to change detection in polarimetric SAR data," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 41, pp. 4–19, Jan 2003.
- A. Mian, G. Ginolhac, J.-P. Ovarlez, and A. M. Atto, "New robust statistics for change detection in time series of multivariate SAR images," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 67, pp. 520–534, Jan 2019.
- R. Ben Abdallah, A. Mian, A. Breloy, M. N. E. Korso, and D. Lautru, "Detection methods based on structured covariance matrices for multivariate SAR images processing," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2019.