

Détection de changement sur images SAR monovariées par analyse temps-fréquence linéaire

Ammar Mian^{1,2}, Jean-Philippe Ovarlez^{1,3}, Guillaume Ginolhac² and Abdourrahmane M. Atto²

¹SONDRA CentraleSupélec, France

²LISTIC, Université de Savoie Mont-Blanc, F-74944, Annecy le Vieux, France

³French Aerospace Lab, ONERA DEMR/TSI, France

5 Septembre 2017



Contents

1 Détection de Changement

- Problematique
- Problème de détection en Monovarié
- Problème de détection en Multivarié

2 Analyse Temps-Fréquence pour Imagerie SAR

- Principe d'acquisition en SAR
- Images SAR Très haute résolution
- Comportement spectro-angulaire des réflecteurs
- Analyse Temps fréquence Linéaire pour l'analyse
- From Mono-Channel to Multi-Channel SAR Image

3 Simulations

- Dataset
- Resultats

4 Conclusion and perspectives

Problématique de détection de changement :

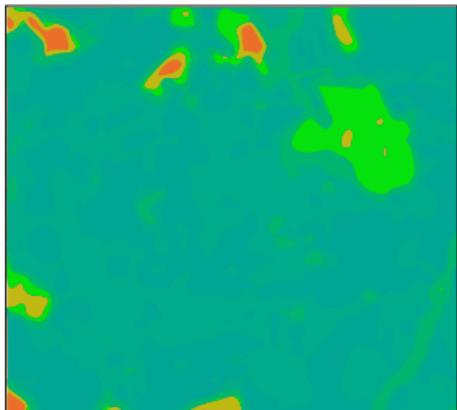


Image at t_0

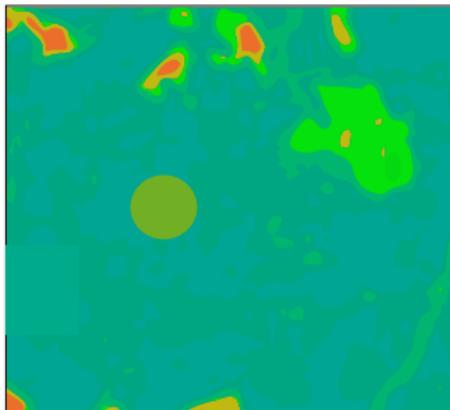


Image at t_1

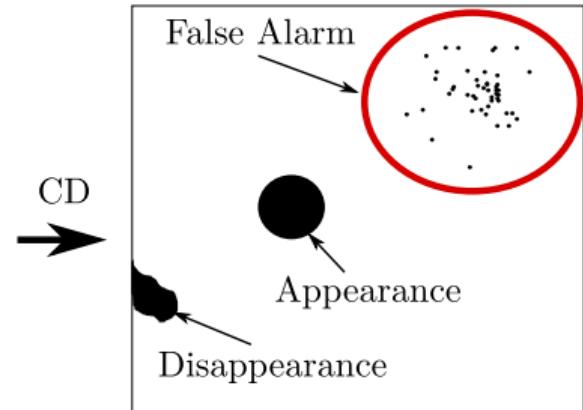


Image Difference

Monovariate Model :

$$\begin{cases} \mathbf{I} = [i_1, i_2, \dots, i_K] \in \mathbb{C}^K \\ \mathbf{J} = [j_1, j_2, \dots, j_K] \in \mathbb{C}^K \end{cases} \text{ avec } \forall k, i_k \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_i) \text{ et } j_k \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_j)$$

Test de Détection :

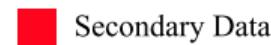
$$\begin{cases} H_0 : \sigma_i = \sigma_j = \sigma \\ H_1 : \sigma_i \neq \sigma_j \end{cases}$$

$$\hat{\Lambda}_{\text{mono}} = \frac{\left(\sum_{k=1}^K |i_k|^2 + \sum_{k=1}^K |j_k|^2 \right)^2}{2 \sum_{k=1}^K |i_k|^2 \sum_{k=1}^K |j_k|^2} \frac{H_1}{H_0} \gtrless \lambda$$

Image at t_0 II

Image at t_1 J

j ₁	j ₂	j ₃	j ₄	j ₅
j ₆	j ₇	j ₈	j ₉	j ₁₀
j ₁₁	j ₁₂	j ₁₃	j ₁₄	j ₁₅
j ₁₆	j ₁₇	j ₁₈	j ₁₉	j ₂₀
j ₂₁	j ₂₂	j ₂₃	j ₂₄	j ₂₅



Multivariate Model [Novak2005]:

$$\begin{cases} \mathbf{I} = [\mathbf{i}_1, \mathbf{i}_2, \dots, \mathbf{i}_K] \in \mathbb{C}^{p \times K} \\ \mathbf{J} = [\mathbf{j}_1, \mathbf{j}_2, \dots, \mathbf{j}_K] \in \mathbb{C}^{p \times K} \end{cases} \text{ avec } \forall k, \mathbf{i}_k \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}_p, \mathbf{C}_i) \text{ et } \mathbf{j}_k \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}_p, \mathbf{C}_j)$$

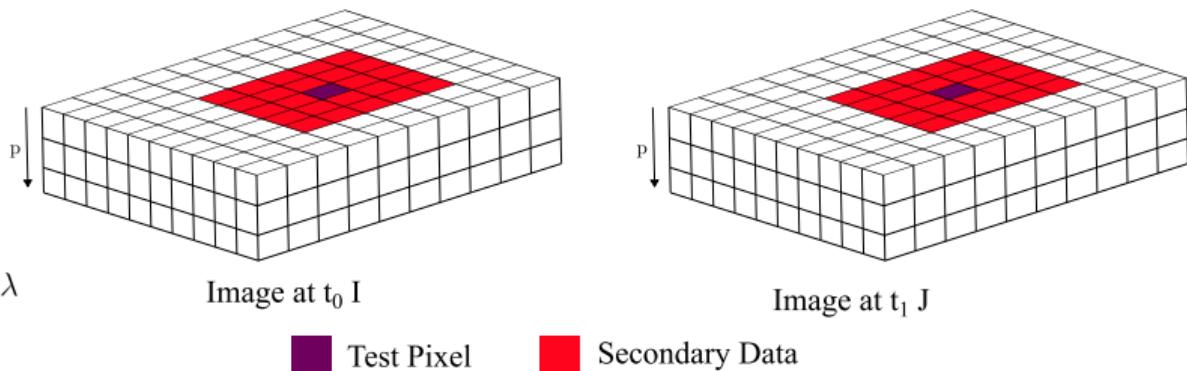
$$\begin{cases} H_0 : \mathbf{C}_i = \mathbf{C}_j = \mathbf{C} \\ H_1 : \mathbf{C}_i \neq \mathbf{C}_j \end{cases}$$

$$\hat{\Lambda}_{\text{multi}} = \frac{\left| \hat{\mathbf{C}} \right|^{2K}}{2 \left| \hat{\mathbf{C}}_i \right|^K \left| \hat{\mathbf{C}}_j \right|^K} \frac{H_1}{H_0} \gtrless \lambda$$

avec :

$$\hat{\mathbf{C}} = \frac{1}{2K} \sum_{k=1}^K \mathbf{i}_k \mathbf{i}_k^H + \mathbf{j}_k \mathbf{j}_k^H, \quad \hat{\mathbf{C}}_i = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \mathbf{i}_k \mathbf{i}_k^H, \quad \hat{\mathbf{C}}_j = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \mathbf{j}_k \mathbf{j}_k^H$$

Intéressant quand on a de l'information Polarimétrique, Interférométrique, etc
 Non utilisable lorsqu'on a une image monovariée !!



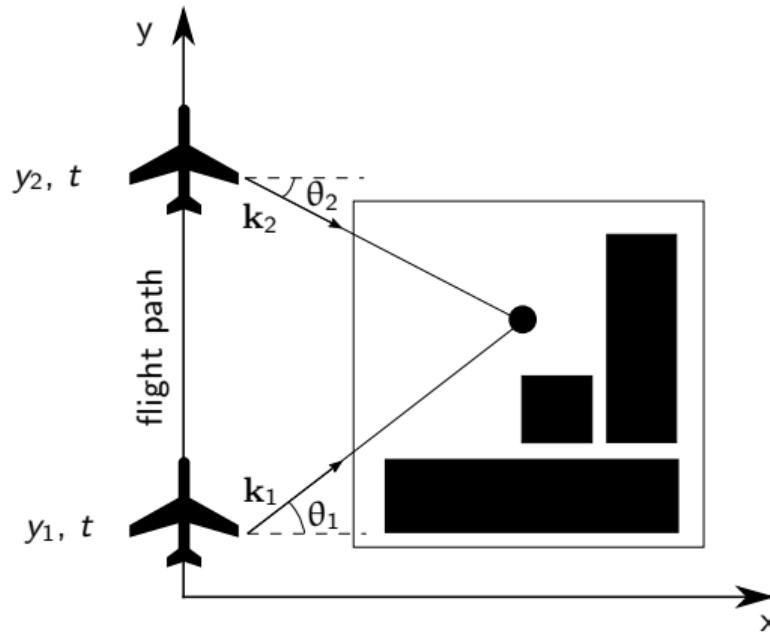


Figure: Géométrie d'acquisition SAR.

Modèle des points brillant:

$$I(\mathbf{r}) = \sum_k h_k \delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}_k)$$

$\mathbf{r} = [x, y]^T$: position.

h_k : Coefficient de réflexion.

Reconstruction d'image SAR :

$$I(\mathbf{r}) = \int_{\mathcal{D}} H(\mathbf{k}) \exp(2i\pi \mathbf{k}^T \mathbf{r}) d\mathbf{k},$$

$\mathbf{k} = [k \cos(\theta), k \sin(\theta)]$: vecteur d'onde.

H : Coefficient de réflexion pour \mathbf{k} donné.

\mathcal{D} : Support fréquentiel et angulaire de H .

Pour une image SAR très haute résolution les réflecteurs peuvent être **dispersifs et anisotropiques** [Duquenoy10].

Spectral diversity



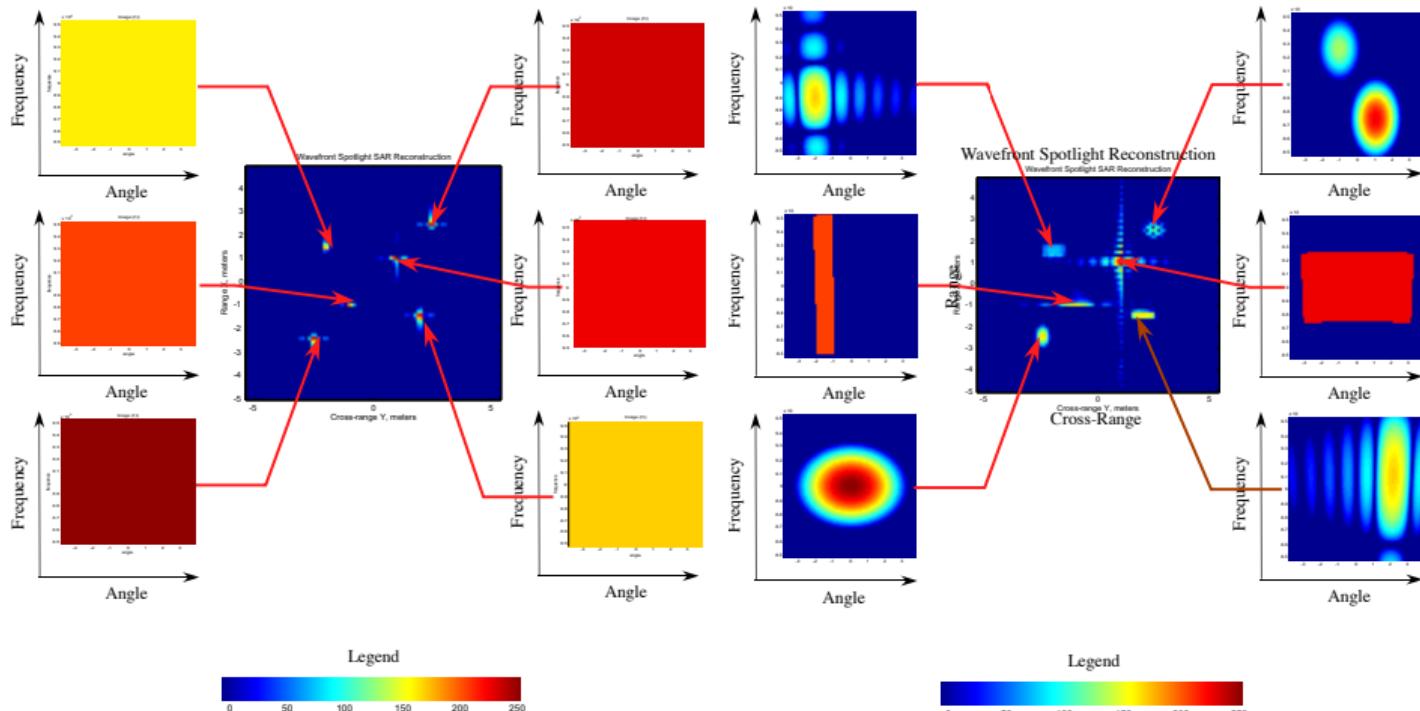
Sub-band 1

Sub-band 2

Sub-band 3

Détection de Changement
 Analyse Temps-Fréquence pour Imagerie SAR
 Simulations
 Conclusion and perspectives

Principe d'acquisition en SAR
 Images SAR Très haute résolution
 Comportement spectro-angulaire des réflecteurs
 Analyse Temps fréquence Linéaire pour l'analyse
 From Mono-Channel to Multi-Channel SAR Image



Comment récupérer cette diversité pour une image reconstruite ?

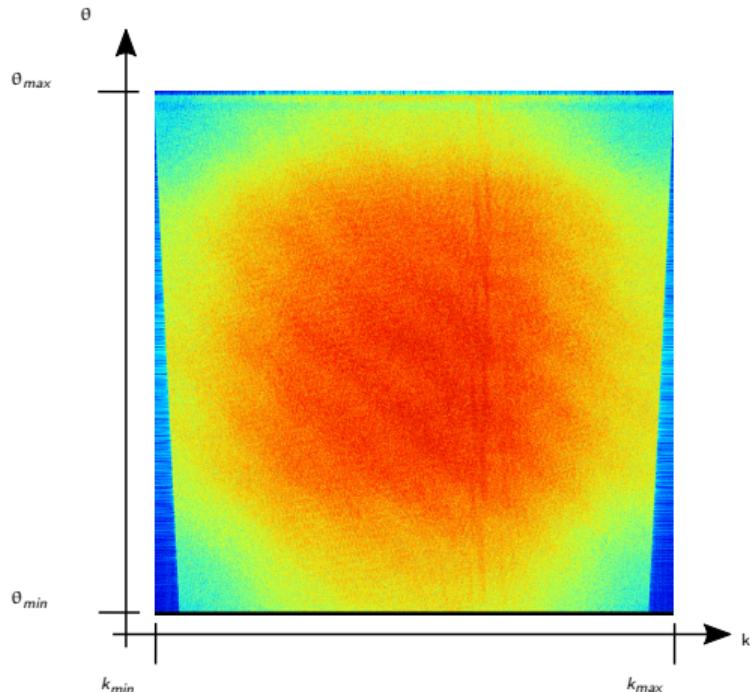


Figure: $H(\mathbf{k}) = \text{TF2D}(I)$

Transformée de Fourier à Court Terme : On veut décomposer l'espace (k, θ) en N_k sous-bandes et N_θ sous-looks sans perte d'information.
 $\kappa = k_{\max} - k_{\min}$, $\Theta = \theta_{\max} - \theta_{\min}$.
 On pose $\phi_{I,m}(k, \theta)$:

$$\phi_{I,m}(k, \theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } (k, \theta) \in \Delta_{I,m} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

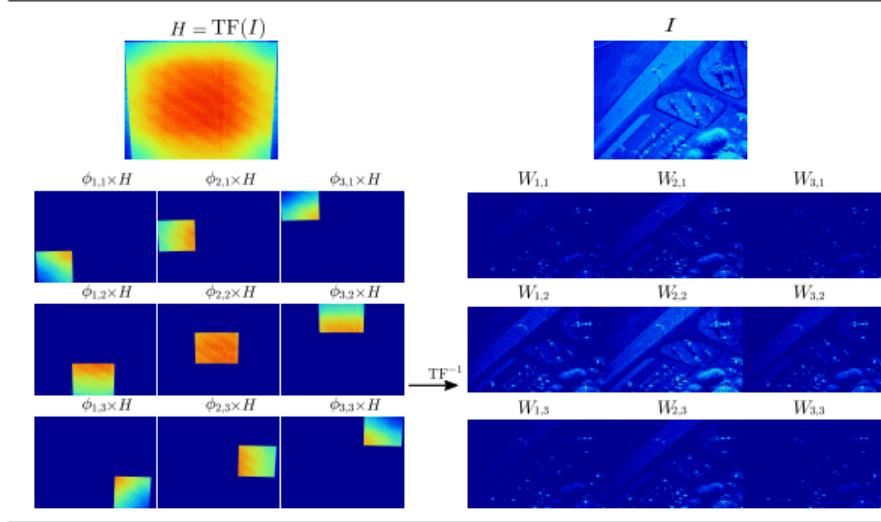
avec

$$\Delta_{I,m} = \left[k_{\min} + \frac{(I-1)\kappa}{N_k}, k_{\min} + \frac{I\kappa}{N_k} \right] \cup \left[\theta_{\min} + \frac{(m-1)\Theta}{N_\theta}, \theta_{\min} + \frac{m\Theta}{N_\theta} \right].$$

Decomposition:

$$W_{I,m}(\mathbf{r}) = \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{+\infty} k H(k, \theta) \phi_{I,m}(k, \theta) e^{+j2\pi\mathbf{k}^T \mathbf{r}} dk$$

Example avec $N_f = 3$ sous-bandes et $N_\theta = 3$ sous-looks image decomposition:



Exploitation of the diversity

Chaque pixel i de l'image monovariée peut ainsi être caractérisé par un vecteur de taille $N = N_f \times N_\theta$: $\mathbf{x}_i = [W_{1,1}^i, \dots, W_{N_f, N_\theta}^i]^T$. Ce vecteur est caractérisé l'**anisotropie** et la **dispersitivité** des réflecteurs contenu dans le pixel.

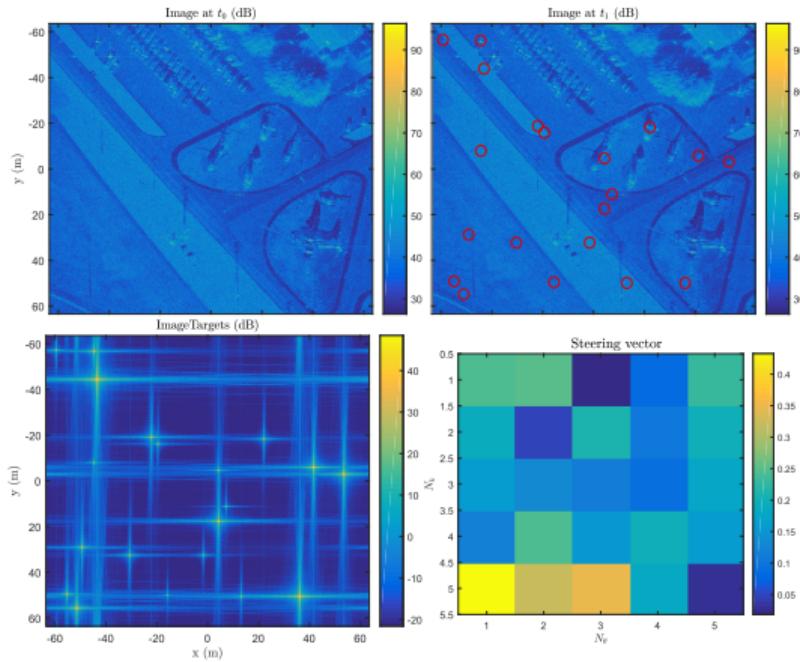


Figure: Example of change generated (SNR: random between [0; 30] dB, position: random on the image). Top-Left: Image I. Top-Right: Image J (changes are circled in red). Bottom-Left: Image of targets. Bottom-Right: Steering vector of one target.

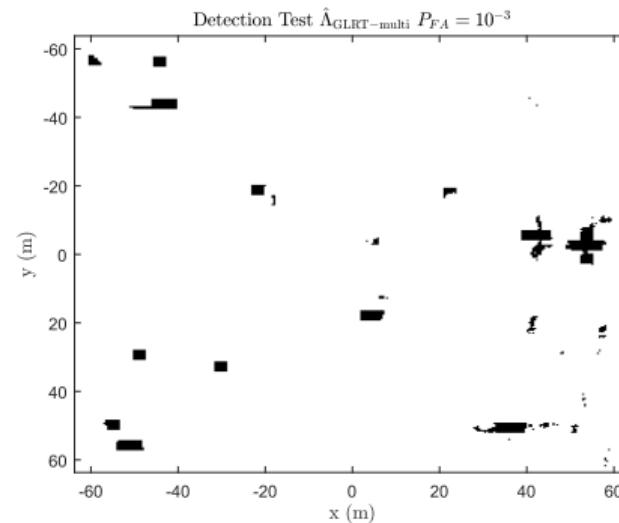
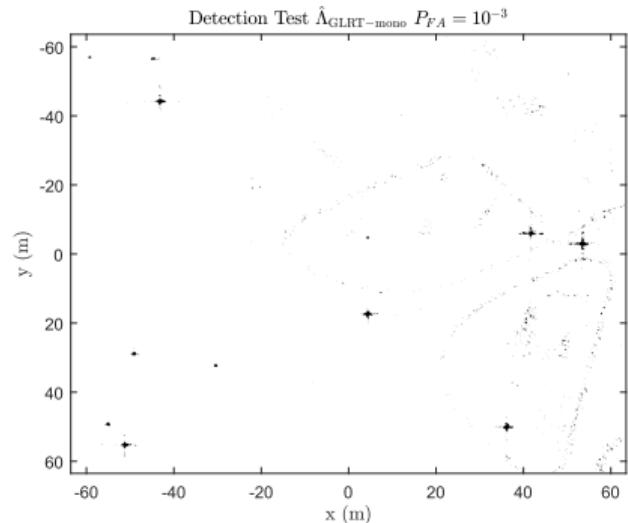


Figure: Detection test at $P_{FA} = 10^{-3}$. Left: $\hat{\Lambda}_{\text{GLRT-mono}} (5 \times 5)$. Right: $\hat{\Lambda}_{\text{GLRT-multi}} (7 \times 7)$.

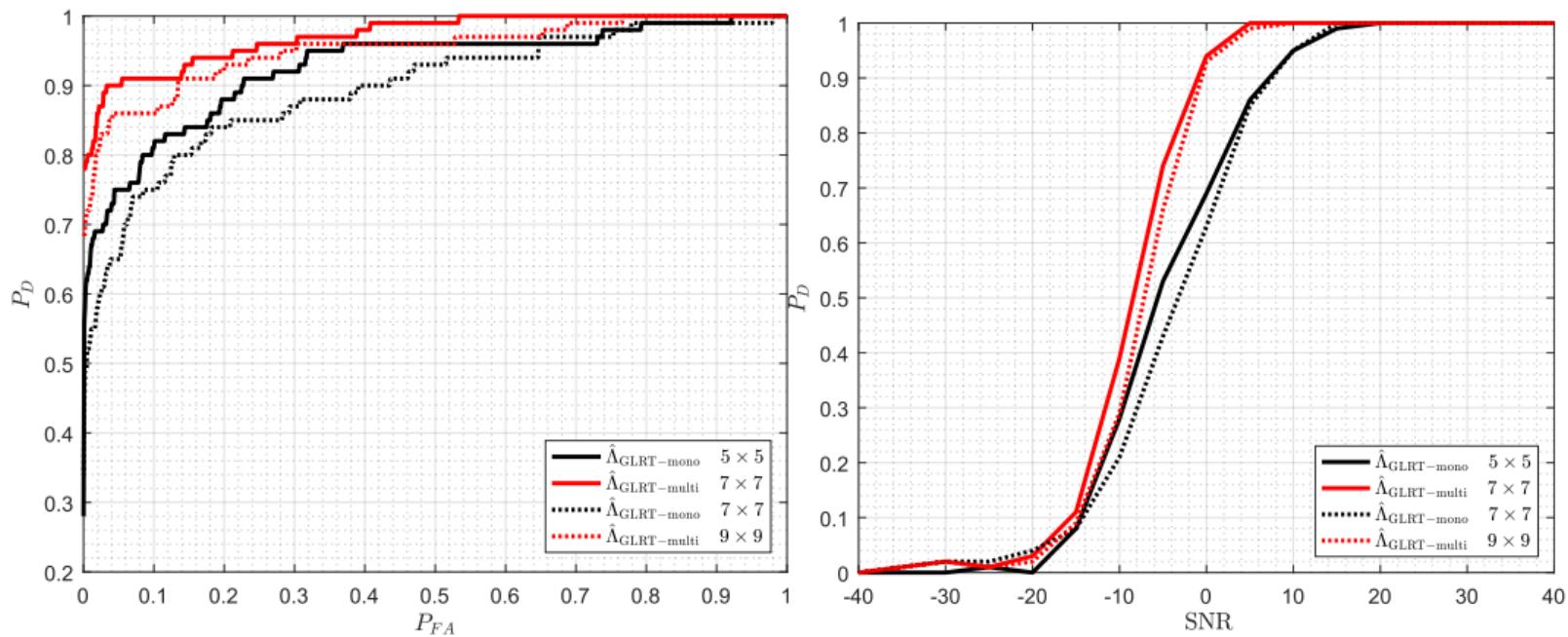


Figure: Left: $P_D = f(P_{FA})$ computed on 100 Monte-Carlo trials (SNR = -5dB, $N_k = N_\theta = 5$, random position of the target and random steering vector). Right: $P_D = f(\text{SNR})$ computed on 100 Monte-Carlo trials ($P_{FA} = 10^{-3}$, $N_k = N_\theta = 5$, random position of the target and random steering vector).

Conclusions

- L'analyse Temps-Fréquence peut être utilisée pour exploiter une diversité physique de réponse des pixels dans le domaine spectral et angulaire.
- Cette diversité peut être exploitée pour des scénarios de détection de changement.

Perspectives

- L'approche peut être étendue à une image Polarimétrique.
- Images Très Haute Résolution ne sont pas Gaussiennes. Développer des détecteurs dans le cadre des distributions elliptiques.
- Séries Temporelles : Quel problème de détection développer ?