الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Département : Génie électrique Et Informatique Industrielle

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme

Master

Spécialité

Systèmes de Télécommunications et Réseaux

- Thème -

Méthodes d'Extraction d'Information sur les Images PolSAR

Réalisé par

BALLAH Radia & YOUCEF Chaimaa

Les membres de Jury :

M. ATROUZ Brahim - Maître Assistant A (Docteur)	Président
Mme. BOUTARFA Souhila - Maître de Conférences B	Promotrice
M. CHERABIT Nouredine - Maître Assistant A	Examinateur
Mme. CHOUAF Saloua - Maître Assistante A	Examinatrice

Alger, le 06/07/2022

Année universitaire 2021 – 2022

MÉTHODE D'EXTRACTION D'INFORMATION SUR LES IMAGES PolSAR

Radia BALLAH, Chaimaa YOUCEF, BOUTARFA Souhila
Département de Génie Electrique & Informatique Industrielle (GEII)
Ecole Nationale Supérieure de Technologie (ENST)
E-mail: r_ballah@enst.dz , c_youcef@enst.dz , souhila.boutarfa@enst.dz

***Résumé*— Dans cet article, nous présentons les méthodes d'extraction d'informations dans les images radar SAR polarimétriques (PolSAR : Polarimetric Synthetic Aperture Radar). La compréhension et l'interprétation du contenu informatif d'une image PolSAR est très utile dans diverses domaines d'application.**

Ces méthodes d'extraction sont appliquées sur une image totalement polarimétrique correspondante à la zone d'Alger, Algérie acquise par le satellite RADARSAT-2 en bande C. la première méthode appliquée est la classification supervisée par maximum de vraisemblance. Aussi, nous avons estimé des paramètres polarimétriques basés sur les valeurs propres de la matrice de cohérence qui sont des indicateurs des caractéristiques du sol : paramètre de la cible Aléatoire (Pr), la fraction de polarisation (PF), paramètre d'asymétrie de polarisation (PA), l'indice de végétation radar (RVI) et la hauteur du piédestal (PH) en utilisant un filtrage pour enlever le bruit multiplicatif speckle en conservant l'information polarimétrique.

Mots clés — Extraction d'informations, Image PolSAR, Classification supervisée, Matrice de cohérence, Valeurs propres, paramètres polarimétriques.

I. INTRODUCTION

La télédétection est une technique d'obtenir des informations sur la surface de la terre sans contact direct. Elle comprend les processus de capture et d'enregistrement de l'énergie, puis de traitement et d'analyse de l'information et enfin utilisation de cette information dans diverses applications, telles que : la cartographie, la géologie et la prospection minière [1]. le radar SAR est un capteur actif qui n'est pas affecté par les conditions météorologiques, il peut traverser les nuages et même fonctionner pendant la nuit, ainsi, il permet de capter des détails qui sont invisibles pour les capteurs optiques.

Le capteur PolSAR, grâce à l'information de polarisation, il permet de détecter des cibles ou des obstacles aussi d'estimer certaines caractéristiques de ces cibles (humidité, rugosité, l'angle d'incidence. etc.). Néanmoins, le speckle affecte les images acquises par ce système, ce qui dégrade la qualité de ces images et rend difficile l'extraction de l'information, de ce fait, un filtrage est nécessaire avant d'exploiter ces données.

L'extraction du contenu sur l'imagerie radar PolSAR n'est pas intuitive. Ce qui pose une problématique d'interpréter et détecter la cible. Les avancements dans cet axe de recherche a permis de développer diverses méthodes pour répondre à ce problème [1].

Dans ce travail, nous présenterons les généralités sur le système radar PolSAR. Nous décrirons par la suite les techniques d'extraction d'informations polarimétriques : la classification supervisée par maximum de vraisemblance et les techniques d'extraction des paramètres PolSAR basées sur le calcul des valeurs propres de la matrice de cohérence. En dernier, nous procéderons à la présentation et la discussion des résultats expérimentaux ainsi qu'une conclusion et des perspectives.

II. RADAR A OUVERTURE SYNTHIETIQUE (RSO)

A. Principe d'acquisition d'une image radar SAR

Un radar à synthèse d'ouverture (RSO) ou SAR est un système actif qui permet d'imager le sol et il effectue un traitement des données reçues pour simuler une antenne de très grande dimension afin d'améliorer la résolution azimutale. L'antenne du radar est fixée sur une face latérale d'un porteur aérien ou satellitaire de tel façon il irradie la surface terrestre (cible) de son propre rayonnement, lorsque le radar déplace, le même point (p) est illuminé plusieurs fois, on obtient alors une série de données pour chaque point sous le radar (Fig. 1) [2]. La résolution radar est déterminée dans deux directions, radiale qui est perpendiculaire à la trajectoire et l'autre direction parallèle est appelée azimutale.

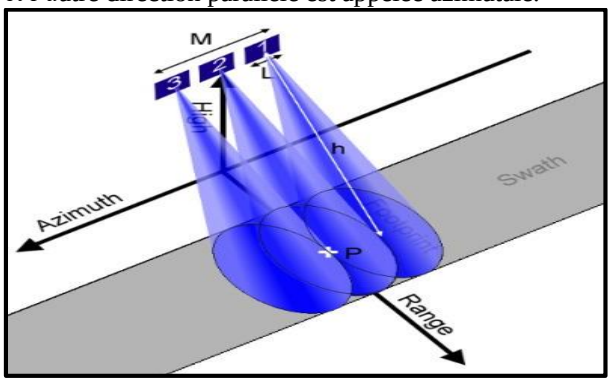


Fig. 1 Géométrie de prise de vue d'un SAR [3].

B. POLARIMETRIE RADAR

La polarimétrie radar traite l'état de polarisation des hyperfréquences qui décrit la direction du champ électrique $\vec{E}$ du signal dans le plan perpendiculaire à la direction de propagation. Les hyperfréquences sont transmises avec deux cas de polarisation,

- Polarisation horizontale H, quand le vecteur $\vec{E}$ est parallèle à la surface illuminée par le radar ;
- Polarisation verticale V, quand il est perpendiculaire à la surface.

Quatre combinaisons de polarisations de transmission et de réception sont possibles:

- HH : transmission et réception horizontales.
- VV : transmission et réception verticales.
- HV : transmission horizontale et réception verticale.
- VH : transmission verticale et réception horizontale.

HH et VV sont des polarisations parallèles du fait que les polarisations de transmission et de réception sont les mêmes. HV et VH sont des polarisations croisées car la polarisation de transmission est orthogonale à la polarisation de réception. [4].
Différentes combinaisons de polarisation sont possibles dans un système radar SAR :

- Polarisation simple ou monopolarisation: HH ou VV (éventuellement HV ou VH)
- Bipolarisation : HH et HV, VV et VH ou HH et VV.
- Polarisation alternée : HH et HV alternant avec VV et VH.
- Triple polarisation HH, HV et VV (cas du radar cas monostatique).
- Quadruple polarisation ou polarisation complète : HH, VV, HV et VH (cas du radar bistatique).

Dans le cas d'une polarisation simple, on parle de radar SAR et dans le cas d'une polarisation multiple (polarimétrie radar), on parle de radar SAR polarimétrique (PolSAR).

C. MÉCANISMES DE DÉFUSSION

La réflexion spéculaire constitue à réfléchir presque la totalité des ondes incidentes sur des surfaces horizontales lisses dans une direction opposée au radar. Ces surfaces sont apparaissent sous forme de zones sombres sur l'image radar. Contrairement aux surfaces rugueuses, elles diffusent l'énergie d'incidence dans toutes les directions et réfléchissent une partie importante de cette énergie. Elles apparaissent avec des régions claires dans l'image [5]. Le mécanisme à double rebond est représenté par la réflexion en coin du rayonnement micro-onde entre la surface et le tronc d'arbre. Cela se traduit par une diffusion très élevée qui apparait sous une forme de zones claires dans l'image. La diffusion volumique est définie comme la diffusion se produisant dans un milieu lorsque l'onde électromagnétique se transmet d'un milieu vers un autre milieu avec une réflexion de ce rayonnement par les différentes discontinuités (réflexion multiple) de deuxième milieu (Fig. 2) [6].

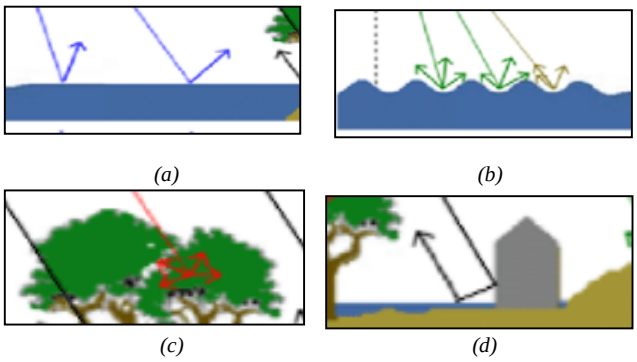


Fig. 2 Mécanismes de diffusion et images zooms sur la diffusion : d'une surface lisse (a), d'une surface rugueuse (b), volumique (c) et double rebond (d) [6]

D. Paramètres polarimétriques de base

Ces grandeurs permettent de caractériser, ainsi de faciliter l'analyse des données et décrire la réponse de la cible.

La matrice Sinclar ou la matrice de diffusion est écrite comme suit :

$$S = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \quad (1)$$

On peut également représenter l'information polarimétrique par un vecteur appelé le vecteur de diffusion, noté k_d et est définit comme suit :

$$\boldsymbol{k_d} = [\boldsymbol{S_{HH}} \;\; \boldsymbol{S_{HV}} \;\; \boldsymbol{S_{VH}} \;\; \boldsymbol{S_{VV}} \;]^{\boldsymbol{t}} \quad (2)$$

Où *t* est la transposée du vecteur.

En partant de ce dernier, on peut construire la matrice de covariance C définit comme suit :

$$\boldsymbol{C} = \boldsymbol{k_d}.\boldsymbol{k_d}^{*\boldsymbol{t}} = \begin{bmatrix} |\boldsymbol{S_{HH}}|^2 & \boldsymbol{S_{HH}S_{HV}}^* & \boldsymbol{S_{HH}S_{VH}^*} & \boldsymbol{S_{HH}S_{VV}^*} \\ \boldsymbol{S_{HV}S_{HH}}^* & |\boldsymbol{S_{HV}}|^2 & \boldsymbol{S_{HV}S_{VH}}^* & \boldsymbol{S_{HV}S_{VV}}^* \\ \boldsymbol{S_{VH}S_{HH}}^* & \boldsymbol{S_{VH}S_{HV}}^* & |\boldsymbol{S_{VH}}|^2 & \boldsymbol{S_{VH}S_{VV}}^* \\ \boldsymbol{S_{VV}S_{HH}}^* & \boldsymbol{S_{VV}S_{HV}}^* & \boldsymbol{S_{VV}S_{VH}}^* & |\boldsymbol{S_{VV}}|^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Où l'exposant (*) se réfère au conjugué complexe.
Si le radar est monostatique (alors la matrice de diffusion est symétrique), le vecteur de diffusion se transformera comme suit :

$$\boldsymbol{k_d} = [\boldsymbol{S_{HH}} \;\; \sqrt{\boldsymbol{2}}\boldsymbol{S_{HV}} \;\; \boldsymbol{S_{VV}} \;]^{\boldsymbol{t}} \quad (4)$$

Dans ce cas, la matrice de covariance devient :

$$\boldsymbol{C} = \boldsymbol{K}.\boldsymbol{K}^{*\boldsymbol{t}} = \begin{bmatrix} |\boldsymbol{S_{HH}}|^2 & \sqrt{\boldsymbol{2}}\boldsymbol{S_{HH}S_{HV}}^* & \boldsymbol{S_{HH}S_{VV}^*} \\ \sqrt{\boldsymbol{2}}\boldsymbol{S_{HV}S_{HH}}^* & |\boldsymbol{S_{HV}}|^2 & \boldsymbol{S_{HV}S_{VV}}^* \\ \boldsymbol{S_{VV}S_{HH}}^* & \sqrt{\boldsymbol{2}}\boldsymbol{S_{VV}S_{HV}}^* & |\boldsymbol{S_{VV}}|^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

La puissance totale de l'onde rétrodiffusée est la somme de ces intensités diagonales. Cette puissance est définie par le vecteur noté Span [5] [7] :

$$\boldsymbol{Span} = |\boldsymbol{S_{HH}}|^2 + |\boldsymbol{S_{HV}}|^2 + |\boldsymbol{S_{VH}}|^2 + |\boldsymbol{S_{VV}}|^2 \quad (6)$$

En vectorisant la matrice de diffusion à l'aide des éléments des matrices de spin de Pauli, on obtient la matrice de

cohérence T de la même manière que la matrice de covariance [6] :

Le vecteur de diffusion dans la base de Pauli noté k_p :

$$k_p = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix} S_{HH} + S_{VV} \\ S_{HH} - S_{VV} \\ 2S_{HV} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Ainsi la matrice de cohérence est définie comme suit :

$$T = k_p . k_p^{*t} \quad (8)$$

$$= \frac{1}{2}\begin{bmatrix} |S_{HH} + S_{VV}|^2 & (S_{HH} + S_{VV}).(S_{HH} - S_{VV})^* & 2S_{HV}.(S_{HH} + S_{VV})^* & 2(S_{HH} + S_{VV}).S_{HV}^* \\ (S_{HH} - S_{VV}).(S_{HH} + S_{VV})^* & |S_{HH} - S_{VV}|^2 & 2S_{HV}.(S_{HH} - S_{VV})^* & 2(S_{HH} - S_{VV}).S_{HV}^* \\ 2S_{HV}.(S_{HH} + S_{VV})^* & 2S_{HV}.(S_{HH} - S_{VV})^* & 4|S_{HV}|^2 & \end{bmatrix}$$

On peut étudier les propriétés de diffusion de différentes surfaces et classifier les données grâce à ces vecteurs et matrices polarimétriques, on peut calculer des paramètres qui permettent d'extraire facilement de l'information sur la surface terrestre. Parmi ces paramètres, on distingue :

- **Rugosité :** La rugosité représente un paramètre physique qui caractérise la surface du sol. Ce paramètre peut être considéré comme une hauteur variable de la surface du sol par rapport à une surface de référence [8]. Elle détermine le type de rayonnement réfléchi : toute l'énergie est réfléchie dans la direction spéculaire et aucun signal n'atteint l'antenne par une surface très lisse, par contre, une diffusion de l'onde incidente dans toutes les directions par une surface très rugueuse. [9].
- **Humidité :** L'humidité du sol, ou eau contenue dans le sol, représente l'état de texture du sol qui détermine la variation des caractéristiques de sols. La détermination des caractéristiques de diffusion ou de stockage de l'eau dans un sol est possible par le taux d'humidité de ce sol [10].
- **Végétation :** la végétation réduit le rayonnement reflet par le sol. La mesure dans laquelle la végétation dépend de la détermination de l'humidité du sol relie avec la longueur d'onde la densité de la végétation, l'angle d'incidence et la polarisation.
- **Topographie :** La topographie affecte sur l'angle d'incidence local. Ce dernier est plus petit pour des pentes orientées vers le système radar que pour une surface plane, mais pour des pentes orientées au sens opposé du radar, l'angle d'incidence est plus important que pour une surface plane. Les variations de l'angle d'incidence impliquent des variations dans le coefficient de rétrodiffusion pour des surfaces avec les mêmes caractéristiques [8].
- **Angle d'incidence (θ)** : est un paramètre qui détermine la direction de la réflexion du signal radar et décrit l'interaction entre l'onde émise du radar et la cible. Lorsque l'humidité du sol diminue l'angle d'incidence augmente.

III. METHODES D'EXTRACTION D'INFORMATIONS SUR LES IMAGE POLSAR

Dans le cadre de notre travail, on s'intéresse aux radars PolSAR, dans lequel l'extraction d'informations sur les images acquises par ce type de radars se fait à partir de diverses approches basées sur la décomposition de la matrice de diffusion. Les méthodes choisies pour cette étude sont : la classification supervisée qui peut classifier les types et l'occupation du sol terrestre, et les cinq paramètres calculés à partir des valeurs propres de la matrice de cohérence, ils contribuent ainsi à une meilleure compréhension des mécanismes de diffusion de chaque pixel pour déterminer le contenu d'une image PolSAR.

A. Classification supervisée

L'utilisation d'une classification supervisée nécessite à identifier des échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs de différents types de surfaces (classes d'information). Un exemple de classification supervisée est illustré dans la figure suivante (Fig. 3) [11].

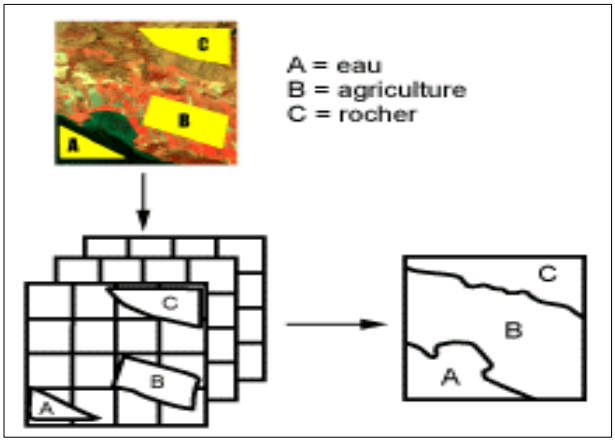


Fig. 3 Exemple illustratif de la classification supervisée [11].

La classification par maximum de vraisemblance suppose que les statistiques de chaque classe dans chaque bande sont normalement distribuées, et calcule la probabilité qu'un pixel donné appartienne à une classe spécifique. À moins que nous ne sélectionnions un seuil de probabilité, tous les pixels sont classés. Chaque pixel est affecté à la classe qui a la probabilité la plus élevée (c'est-à-dire la vraisemblance maximale). Si la probabilité la plus élevée est inférieure à un seuil que nous spécifions, le pixel reste non classé [12].

IV. VALEURS PROPRES DE MATRICES DE COHERENCE λ_i

Les vecteurs propres et les valeurs propres de la matrice de cohérence T (3x3) peuvent être calculées pour générer une forme diagonale de la matrice de cohérence qui peut être interprété physiquement comme une indépendance statistique

entre un ensemble de vecteurs cibles. La matrice de cohérence T peut s'écrire sous la forme suivante :

$$\boldsymbol{T = U\Sigma U^{-1}} \quad (9)$$

où $\boldsymbol{\Sigma}$ est une matrice diagonale 3x3 à éléments réels non négatifs, et $\boldsymbol{U}$ est une matrice unitaire 3x3,

$$\boldsymbol{U} = [\boldsymbol{u_1} \quad \boldsymbol{u_2} \quad \boldsymbol{u_3}] \quad (10)$$

où $\boldsymbol{u_1}, \boldsymbol{u_2}$ et $\boldsymbol{u_3}$ sont les trois vecteurs propres orthogonaux unitaires.

La matrice *T* peut aussi s'écrire sous la forme de :

$$T = \sum_{i=1}^{3} \boldsymbol{\lambda}_i u_i \,.\, u_i^* \quad (11)$$

où les nombres réels $\boldsymbol{\lambda}_i$ sont les valeurs propres de *T* tel que $\boldsymbol{\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3}$

V. PARAMETRES POLSAR BASES SUR LES VALEURS PROPRES

Nous citons les différents cinq paramètres basés sur le calcul des valeurs propres de la matrice de cohérence polarimétrique (11).

A. Paramètre de la cible Aléatoire (Pr)

Le premier paramètre est le paramètre de la cible aléatoire ou The Target Randomness (Pr) [13], il est compris entre 0 et 1 et défini par :

$$Pr = \sqrt{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{\boldsymbol{\lambda_2}^2 + \boldsymbol{\lambda_3}^2}{\boldsymbol{\lambda_1}^2 + \boldsymbol{\lambda_2}^2 + \boldsymbol{\lambda_3}^2}} \quad (12)$$

La cible est déterministe avec $\boldsymbol{\lambda_2 \approx \lambda_3} \approx 0$ implique que $Pr = 0$ et pour une cible complètement aléatoire avec $\boldsymbol{\lambda_1 \approx \lambda_2 \approx \lambda_3} \approx 0$ donne $Pr = 1$.

B. Paramètre de fraction de polarisation (PF)

Le paramètre de fraction de polarisation (PF) dépend du pourcentage de la puissance totale ($Span$) qui reste complètement non polarisé est donc égal à $3\boldsymbol{\lambda_3}/Span$ [13] . Le (PF) varie entre 0 et 1 et est donné par :

$$PF = 1 - \frac{3\boldsymbol{\lambda_3}}{Span} = 1 - \frac{3\boldsymbol{\lambda_3}}{\boldsymbol{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}} \quad (13)$$

Lorsque $\boldsymbol{\lambda_3} = 0$ l'onde de retour est polarisée, cependant, lorsque $\boldsymbol{\lambda_3} > 0$, le niveau de polarisation diminue.

C. Paramètre d'asymétrie de polarisation (PA)

L'asymétrie polarimétrique (PA) mesure la puissance relative des deux mécanismes de diffusion polarimétrique afin de tirer la composante non polarisée [13]. Il peut être calculé à partir d'un rapport entre la somme et la différence des deux valeurs propres du signal de retour polarisé, tel que :

$$PA = \frac{(\boldsymbol{\lambda_1 - \lambda_3}) - (\boldsymbol{\lambda_2 - \lambda_3})}{(\boldsymbol{\lambda_1 - \lambda_3}) + (\boldsymbol{\lambda_2 - \lambda_3})} = \frac{\boldsymbol{\lambda_1 - \lambda_2}}{\boldsymbol{\lambda_1 + \lambda_2 - 2\lambda_3}} \quad (14)$$

$$PA = \frac{\boldsymbol{\lambda_1 - \lambda_2}}{Span - 3\boldsymbol{\lambda_3}}$$

Ce paramètre est également compris entre 0 et 1.

D. Indice de végétation radar (RVI)

Le RVI est la mesure du caractère aléatoire de la diffusion qui représente une méthode de suivi du niveau de croissance de la végétation. Il varie généralement entre 0 et 4/3. La teneur en eau de la végétation est également peu sensible aux effets des conditions environnementales. Le RVI est proche de zéro pour une surface lisse, et augmente à mesure que la culture pousse [14]. L'indice de végétation est calculé comme suit :

$$RVI = \frac{4\boldsymbol{\lambda_3}}{\boldsymbol{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}} \quad (15)$$

E. Hauteur du piédestal (PH)

La hauteur du piédestal est un paramètre utile qui peut être obtenu à partir des signatures de polarisation. Elle représente la valeur minimale d'intensité trouvée sur la signature, lorsque la réponse maximale est normalisée. Ce paramètre est un indicateur de la présence d'une composante de diffusion non polarisée dans le signal reçu, il est donc lié au degré de polarisation d'une onde diffusée. Si une seule cible diffuse et que l'onde rétrodiffusée est entièrement polarisée, la hauteur du piédestal est nulle. Mais, si la signature est calculée à partir d'une moyenne de plusieurs échantillons avec plusieurs diffuseurs différents ou en présence du bruit dans le signal reçu, la hauteur du piédestal sera non nulle. Ainsi, la hauteur du piédestal est également une mesure du nombre de différents types de mécanismes de diffusion trouvés dans les échantillons moyennés [15]. Le paramètre PH est défini comme suit :

$$PH = \frac{\min(\boldsymbol{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3})}{\max(\boldsymbol{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3})} = \frac{\boldsymbol{\lambda_3}}{\boldsymbol{\lambda_1}} \quad (16)$$

Tel que $\boldsymbol{\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3}$ et $0 \leq \mathrm{PH} \leq 1$.

VI. RESULTATS ET DISCUSSION

Dans cette partie, nous appliquerons les méthodes d'extraction d'information sur les images PolSAR présentées précédemment, tel que : la classification supervisée, le calcul des cinq paramètres basés sur les valeurs propres. Ces méthodes ont été développées sous le langage de programmation IDL (Interactive Data Language) en utilisant le logiciel ENVI (Environnement for Visualizing Image) [16]. Puis, nous exposerons les résultats de l'évaluation visuelle des images Span classifiées par la classification supervisée Maximum de Vraisemblance, ainsi les images résultantes des paramètres basés sur les valeurs propres, afin de définir la méthode la plus performante pour la reconnaissance de contenu d'une image PolSAR en effectuant une étude comparative.

Nous avons utilisé une image PolSAR complètement polarimétrique complexe (HH, HV, VH, VV) (Fig. 6) correspondant à la zone d'Alger, en Algérie, acquise par le satellite RADARSAT-2 en bande C, en 2009. Cette image a été exploitée pour calculer les images Span (6) et les les composantes de vecteur de Pauli (8) ($|S_{HH} - S_{VV}|$, $|S_{HH} + S_{VV}|$, $|S_{HV} + S_{HV}|$) (Fig. 5) Pour pouvoir bien tester l'efficacité des méthodes proposées, la méthode de filtrage de Lee

adaptatif (RLF : Refined Lee Filter) a été appliqué sur les images polarimétrique, avec une fenêtre mobile de taille 7×7 pixels [17].

Ainsi, pour pouvoir bien évaluer l'efficacité des méthodes d'extraction d'information polarimétrique étudiées, nous affichons l'image optique de la région étudiées (Fig. 4).



Fig. 4 Image optique de la région d'Alger, Algérie en 2009 obtenue à partir du logiciel Google Earth.

Egalement, nous présentons sur la figure suivante (Fig. 5), une image RVB issue de la décomposition de Pauli [18] : en bleu le mécanisme de diffusion simple rebond représente l'amplitude $|S_{HH} + S_{VV}|$, en rouge le mécanisme de diffusion double rebond représente l'amplitude $|S_{HH} - S_{VV}|$ et en vert le mécanisme de diffusion volumique pour l'amplitude $|S_{HV} + S_{VH}|$, afin d'évaluer les performances des méthodes d'extraction de l'information polarimétriques étudiées à identifier les mécanisme de diffusion.

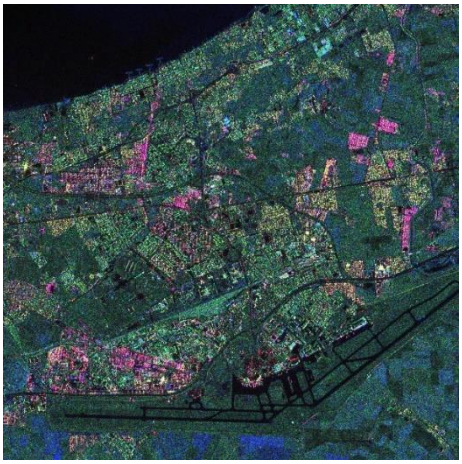
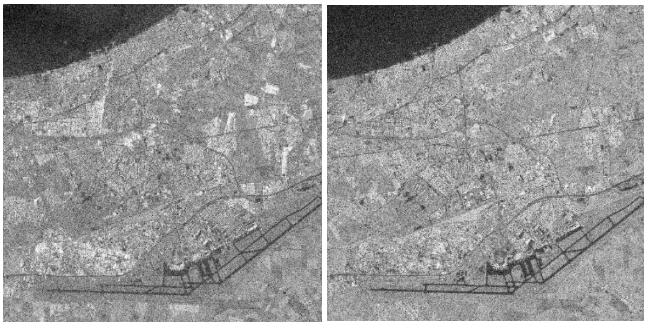


Fig. 5 Image PolSAR en composition colorée de Pauli R : $|S_{HH} - S_{VV}|$, B : $|S_{HH} + S_{VV}|$ et V : $|S_{HV} + S_{VH}|$.



(a) (b)



(c) (d)

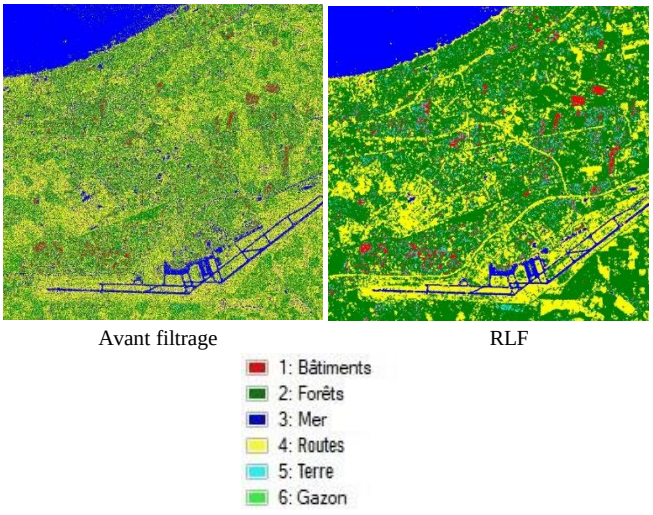
Fig. 6 Représentation des données polarimétriques en amplitude(a) Composante HH. (b) Composante HV. (c) Composante VH. (d) Composante VV.

L'application du filtre de Lee adaptatif a pour but de réduire l'effet du bruit « speckle » qui influe sur la qualité des images PolSAR.

A. Résultat d'évaluation visuelle

1) Classification Maximum de vraisemblance

La classification supervisée regroupe les pixels d'un ensemble de données en classes basées sur des données d'apprentissage définies par l'utilisateur. Les données d'entraînement peuvent provenir d'un fichier ROI (Region of interest) importé ou de régions qu'on crée sur l'image. Les données d'entraînement doivent être définies avant de pouvoir continuer dans le travail de la classification supervisée. Une fois défini, on sélectionne les classes qu'on souhaite mapper dans la sortie [19].



Avant filtrage RLF

Fig. 7 Images Span classifiées par la classification supervisée avant et après filtrage.

La figure (Fig. 7) représente les résultats de la classification supervisée de maximum de vraisemblance sur les images Span, avant et après filtrage, après avoir choisi les ROIs et identifi les classes selon les différents mécanismes de diffusion.

L'image Span avant filtrage classifiée montre chaque classe par sa couleur, par contre la visibilité des détails est plus difficile à cause des tâches granulaires dues au speckle. Puisque le résultat de la classification de l'image originale ne permet pas de bien identifier les objets. De ce fait, il est nécessaire d'appliquer un filtrage polarimétrique

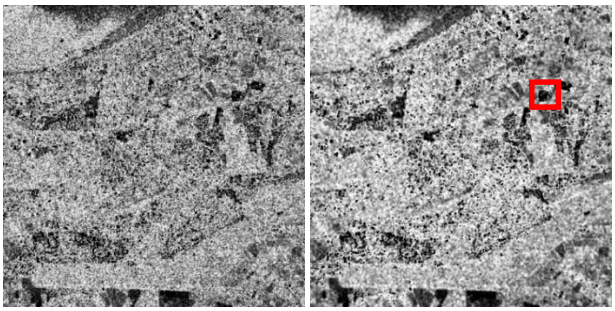
(filtre RLF). L'image Span classifiée filtrée par le filtre RLF montre une amélioration au niveau de la visibilité des détails. Les classes sont bien définies et sont plus homogènes et uniformes., cela permet une meilleure identification des objets. Tout cela aide à bien comprendre le contenu de l'image afin d'extraire l'information polarimétrique utile. On observe que les bâtiments (diffusion double rebond) sont devenus facilement remarquables, et sont classées par la couleur rouge. Les routes (diffusion surfacique) sont devenues identifiables, et sont identifiées par la couleur jaune. Les forêts (diffusion volumique) sont clairement visibles et les différentes zones homogènes sont devenues aisément séparables aux zones hétérogènes. On remarque que les grandes pistes de l'aéroport d'Alger et la mer (diffusion surfacique) sont classifiées en couleur bleue, alors que les routes nationales sont en jaune. Cela revient à la différence d'intensités entre les pixels des routes de la ville et les intensités des pixels des pistes de l'aéroport et la mer.

En conclusion, la classification supervisée est plus informative du point de vue de la reconnaissance des objets en tenant compte des différents mécanismes de diffusion.

2) Paramètres basés sur les valeurs propres de la matrice de cohérence

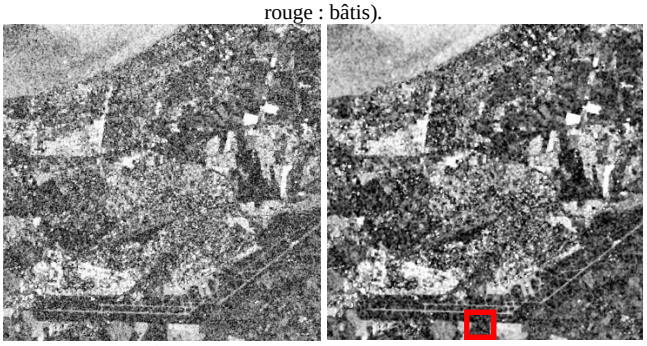
Les figures (Fig. 8), (Fig. 9), (Fig. 10), (Fig. 11) et (Fig. 12) représentent respectivement les images résultantes du calcul des paramètres Pr, PF, PA, PH et RVI sur les images Span, avant et après l'application du filtre RLF.

En comparant les images originales aux images filtrées, nous pouvons remarquer que les images originales affichent un bruit (taches granulaires) qui perturbe la vision de la scène et qui rend les résultats difficiles à interpréter. Pour cela, nous avons effectué notre interprétation sur les images filtrées par la méthode RLF.



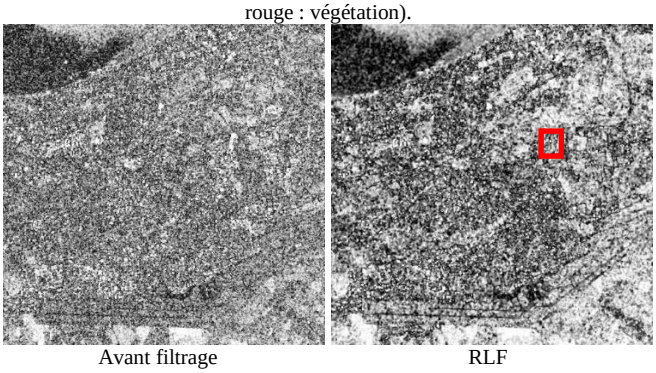
Avant filtrage RLF

Fig. 8 Résultat de Pr sur les images Span avant et après filtrage (zone rouge : bâtis).



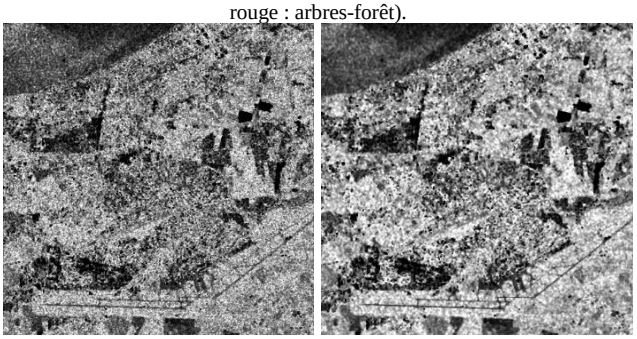
Avant filtrage RLF

Fig. 9 Résultat de PF sur les images Span avant et après filtrage (zone rouge : végétation).



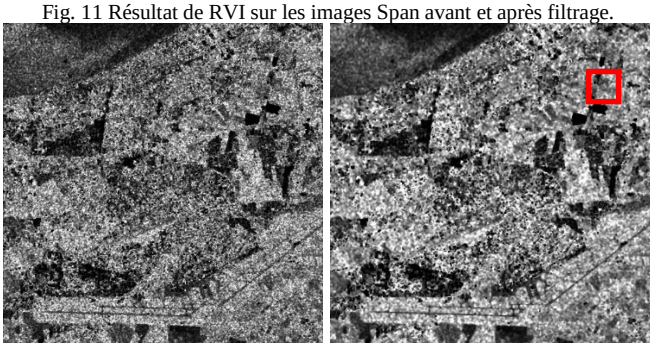
Avant filtrage RLF

Fig. 10 Résultat de PA sur les images Span avant et après filtrage (zone rouge : arbres-forêt).



Avant filtrage RLF

Fig. 11 Résultat de RVI sur les images Span avant et après filtrage.



Avant filtrage RLF

Fig. 12 Résultat de PH sur les images Span avant et après filtrage.

L'image résultante de l'application du paramètre Pr (Fig. 8) montre la diffusion aléatoire en couleur claire et les cibles déterministes en couleur sombre. Par exemple, les bâtiments (zone rouge Fig.8), qui sont représenté par la diffusion double rebond, sont facilement identifiables.

L'image résultante du paramètre PF (Fig. 9) nous permet d'observer la dégradation de la polarisation des différentes régions. Par exemple, la zone de la mer apparait très claire sur l'image, cela veut dire que cette zone est peu polarisée (diffusion surfacique). Contrairement aux d'autres zones, comme celles entre les bâtiments et la végétation (zone rouge Fig. 8), apparaissent comme des zones très sombre, cela implique que le niveau de la polarisation diminue.

Le paramètre PA (Fig. 10) permet de tirer les composantes non-polarisées. La zone rouge sur la figure (Fig. 10) apparait en claire, ce qui veut dire qu'elle possède des composantes non-polarisées. Cela est évident, vue que c'est une zone de forêt.

En comparant le résultat du paramètre RVI (Fig. 11) avec les deux figures (Fig. 4) et (Fig. 5), les zones de végétation sont représentées par des zones claires, ce qui

représente le gazon et les forêts. Cela implique que le RVI a réussi à identifier la végétation.

La hauteur du piédestal PH (Fig. 12) indique également le degré de polarisation. Prenant la zone de la mer, elle apparait presque totalement sombre, cela signifie que l'onde est entièrement polarisée et un seul mécanisme de diffusion est mis en jeu. Par contre, les forêts (zone rouge Fig. 10) apparaissent en différentes nuances ce qui signifie l'existence de plusieurs mécanismes de diffusion ou de la diffusion volumique.

B. Résultat d'évaluation statistique

Les résultats d'évaluation statistique du calcul des paramètres basés sur les valeurs propres de la matrice de cohérence (Pr, PF, PA, RVI et PH) avant et après filtrage sont effectuées sur trois zones différentes ; une zone homogène du gazon, une zone homogène dans la mer, et une région hétérogène près de l'aéroport d'Alger (Fig. 13), sont résumés dans le tableau (Tab.I).

TABLE I. ÉVALUATION STATISTIQUE DES PARAMETRES SUR L'IMAGE SPAN ORIGINALE ET L'IMAGE FILTREE PAR LEE

Paramètres \ Filtres	Avant filtrage	Refined Lee (RLF)
Zone homogène 1		
Pr	0.603585	0.604463
PF	0.508972	0.509293
PA	0.576188	0.579970
RVI	0.654705	0.654276
PH	0.295589	0.293153
Zone homogène 2		
Pr	0.544585	0.562564
PF	0.772305	0.760423
PA	0.421074	0.404392
RVI	0.303593	0.319436
PH	0.122208	0.130415
Zone hétérogène		
Pr	0.582484	0.638409
PF	0.832359	0.823587
PA	0.347903	0.283392
RVI	0.223521	0.235217
PH	0.0916707	0.100785

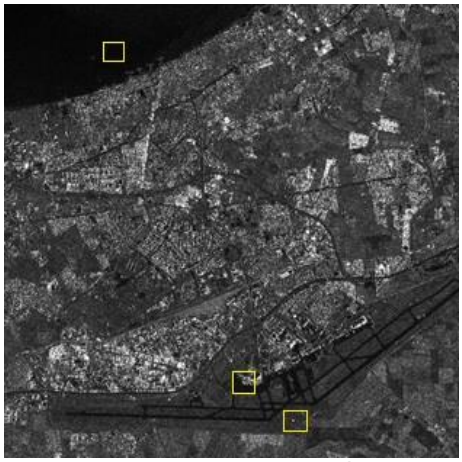


Fig. 13 Image Span de trois zones, une homogène gazon, une zone homogène dans la mer et une zone hétérogène

D'après le tableau Tab.I, il est montré que les valeurs des paramètres Pr, PF, PA, PH sont effectivement comprises entre 0 et 1 et le RVI est entre 0 et 4/3. D'après les valeurs du paramètre Pr pour les trois zones d'études, on remarque que sa valeur n'est pas égale à 1, ce qui implique que la cible n'est pas purement déterministe. En observant les résultats du paramètre PA, les valeurs obtenues pour les zones homogènes sont plus grand que celles de la zone hétérogène, nous pouvons conclure que les zones homogènes se caractérisent par des composants non polarisés plus que les zones hétérogènes.

Prenant le paramètre PF en considération, on constate que les valeurs obtenues pour les trois zones sont proches de 1, et donc le retour de l'onde n'est pas parfaitement polarisé dans les trois zones étudiées. En observant les résultats statistiques de l'indice de végétation (RVI), nous remarquons que la première zone homogène du gazon présente effectivement la valeur la plus élevée du RVI. Pour les deux autres zones, la valeur de l'indice diminue, due au fait que ces zones manquent de végétation. Ainsi, la hauteur du piédestal (PH) n'est pas nulle et cela indique que l'onde rétrodiffusée n'est pas entièrement polarisée et que la signature est calculée à partir d'une moyenne de plusieurs échantillons avec des diffuseurs différents.

Il est remarquable que tous les résultats statistiques obtenus avant et après filtrage sont proches. Ce qui montre que l'information polarimétriques est préservée avant et après filtrage d'où l'importance d'appliquer un filtrage polarimétrique qui vérifie les critères requis pour éviter la perte d'information, donc, obtenir une identification des cibles correctement.

D'après les observations des calculs du tableau (Tab. I), nous pouvons conclure que les résultats joignent bien les remarques de l'évaluation visuelle. Par conséquent, le calcul de ces paramètres (Pr, PF, PA, RVI et PH) contribue évidemment à caractériser le sol de la surface étudiée.

D'après les interprétations précédentes des méthodes d'extraction de l'information polarimétrique étudiées, nous concluons que la méthode de la classification supervisée de maximum de vraisemblance est une méthode visuelle performante, car elle donne une représentation colorée facile à interpréter à l'aide des classes bien définies pour avoir toutes les informations nécessaires sur le type de la région selon le mécanisme de diffusion correspondant, et donc, étudier le contenu informatif sur l'image PolSAR. Alors que, le calcul des paramètres PolSAR (Pr, PF, PA, RVI et PH) contribue d'une manière complémentaire à extraire de l'information polarimétrique avec précision.

VII. CONCLUSION

La classification supervisée de maximum de vraisemblance montre les différents types du mécanisme de diffusion d'une forme classifiée et facile à interpréter. Les paramètres basés sur les valeurs propres de la matrice de cohérence sont des indicateurs utiles pour bien caractériser le

contenu de la scène étudiée. Nous proposons comme perspectives l'utilisation de nouvelles méthodes d'extraction de données, telles que : l'estimation des caractéristiques du manteau neigeux, et la détection de l'activité volcanique.

REMERCIMENTS

Nous tenons à remercier énormément notre promotrice Mme BOUTARFA Souhila, Maitre de conférences au département de GEII à l'ENST, pour son aide et sa disponibilité du début à la fin de ce travail. Nous sommes très reconnaissantes envers elle pour tous ce qu'elle a fait pour nous. Nous remercions également les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer notre travail. Nos remerciements s'étendent également à tous les enseignants de l'ENST.

REFERENCES

[1] Centre Canadien de Télédétection "Notions fondamentales de télédétection : https://www.rncan.gc.ca/cartes-outils-et-publications/imagerie-satellitaire-et-photos-aeriennes/tutoriel-notions-fondamentales-teledetection/9310 (visité en Avril 2022)

[2] Image radar SAR (2004): https://www.onera.fr/fr/actualites/image-radar-sar (visité en Avril 2022)

[3] BOUTARFA, Souhila, BOUCHEMAKH, Lynda, SMARA, Youcef "Comparative Study of Speckle Filtering Methods in PolSAR Radar Images," ESA POLINSAR, vol. 729, Rome, Italie, 26-30 Janvier (2015), ISBN: 978-92-9221-293-3..

[4] « Caractéristiques des radars à ouverture synthétique fonctionnant dans le service d'exploration de la Terre par satellite (active) au voisinage de 9 600 MHz » Recommandation UIT-R RS.2043-0 (02/2014) : https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/rs/R-REC-RS.2043-0-201402-I!!PDF-F.pdf (visité en Avril 2022)

[5] BOUTARFA, Souhila, BOUCHEMAKH, Lynda, SMARA, Youcef " Filtrage des Images Radar SAR Polarimétriques par les Ondelettes," Journées Scientifiques du Laboratoire de Traitement d'Images et Rayonnement JSLTIR2011, Alger, Algérie, 6-7 Juin (2011).

[6] TANGUY, Marion. Cartographie du risque d'inondation en milieu urbain adaptée à la gestion de crise : Analyse préliminaire. 2012.

[7] BOUTARFA, Souhila, BOUCHEMAKH, Lynda, SMARA, Youcef "Polarimetric synthetic aperture radar speckle filtering by multiscale edge detection," Journal of Applied Remote Sensing SPIE, vol. 13(2), p. 024507 (2019).

[8] DISSANSKA, Maria, PANICONI, Claudio, et BERNIER, Monique. Étude du potentiel des données polarimétriques RADARSAT-2 pour le suivi de l'humidité du sol en milieu agricole (campagne 2008 sur la plaine Campidano, Sardaigne, Italie). 2010.

[9] ULABY, Fawwaz T. Microwave remote sensing active and passive. Rader remote sensing and surface scattering and emission theory, 1982, p. 848-902.

[10] Humidité de sol : Les différentes techniques de mesure: https://www.sdec-france.com/mesure-humidite-volumique-des-sols-theorie.html (visité en Mai 2022)

[11] Classification et analyse des images: https://www.rncan.gc.ca/cartes-outils-et-publications/imagerie-satellitaire-et-photos-aeriennes/tutoriel-notions-fondamentales-teledetection/classification-et-analyse-des-images/classification-et-analyse-des-images/9362 (visité en Juin 2022)

[12] Muximum likelihood https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/maximumlikelihood.html#:~:text=Maximum%20likelihood%20classification%20assumes%20that,threshold%2C%20all%20pixels%20are%20classified (visité en Juin 2022)

[13] LEE, Jong-Sen et POTTIER, Eric. Polarimetric radar imaging: from basics to applications. CRC press, 2017.

[14] KUMAR, Dinesh, RAO, S., et SHARMA, J. R. Radar Vegetation Index as an alternative to NDVI for monitoring of soyabean and cotton. In : Proceedings of the XXXIII INCA International Congress (Indian Cartographer), Jodhpur, India. 2013. p. 19-21.

[15] Polarization Signatures: https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/satellite-imagery-and-air-photos/satellite-imagery-products/educational-resources/tutorial-radar-polarimetry/polarization-signatures/9597 (visité en Juin 2022)

[16] ENVI, (visité en Juin 2022) https://www.l3harrisgeospatial.com/Software-Technology/ENVI

[17] YOMMY, Aiyeola Sikiru, LIU, Rongke, et WU, Shuang. SAR image despeckling using refined Lee filter. In : 2015 7th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics. IEEE, 2015. p. 260-265.

[18] BRIGUI, Frédéric. Algorithmes d'imagerie SAR polarimétriques basés sur des modèles à sous-espace: application à la détection de cible sous couvert forestier. 2010. Thèse de doctorat. Paris 10.

[19] Supervised Classification Settings : https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/classification.html#ClassSupervised (visité en Juin 2022)