

Réduction Du Chatolement Sur Des Images Sentinel-1 Du Département De Boundial Au Nord De La Côte D'ivoire

KONE Isaac Zakariya^(1*), Adja Miessan Germain⁽¹⁾, Yann Pinatiby⁽¹⁾, BINDAOU DOU Issa Abdou Kerim⁽¹⁾, Jourda Patrice⁽¹⁾

(1) Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT) Abidjan-Cocody Côte d'Ivoire

(1) École Normale Supérieure d'Abidjan-Cocody Côte d'Ivoire

(1) Université Nagoua Abrogoua Abidjan-Abobo-Adjamé Côte d'Ivoire

RÉSUMÉ :

L'effet poivre et sel (chatolement ou "speckle") observé sur les images C-SAR/SENTINEL-1 en polarisation HV dégrade la qualité, et réduit le pouvoir de perception visuelle des détails et des structures géologiques de l'image tout en réduisant leur analyse et l'interprétation est réduite. Le but du filtrage de speckle est de supprimer le bruit et augmenter la lisibilité de l'image. Cette étude vise la réduction du chatolement sur des images SENTINEL-1A du Nord de la Côte d'Ivoire. C'est une étape intermédiaire qui vient après une série de prétraitement des images C-SAR. La réduction de chatolement, se présente comme une étude préalable à toutes études portant sur le traitement des images radar à synthèse d'ouverture.

À cet effet, une opération de filtrage a consisté à estimer la réflectivité radar idéale en fonction de l'observation bruitée et aussi tenir compte des paramètres statistiques de la scène estimée localement. Ainsi, pour éliminer le chatolement sur les images SENTINEL-1 du département de Boundiali, les filtres de Lee amélioré, de Gamma et de Frost amélioré de taille 3x3, 5x5 et 7x7 ont été testé afin de ne retenir que celui qui permet d'améliorer le rapport signal/bruit ainsi que l'analyse de l'image. Dans cette étude, sur la base des missions de terrain, et des données exogènes existantes, trois zones tests homogènes (eau, savane et habits et sols nus) ont été retenues.

Il a donc été nécessaire d'adapter les paramètres des filtres aux changements locaux de l'image d'amplitude. Ces filtres, basés sur les paramètres statistiques de distribution du chatolement sont évalués à partir des indicateurs de performance. Le filtre de Lee amélioré (5x5), présentant le meilleur compromis a permis de réduire efficacement les bruits de chatolement des images C-SAR/SENTINEL-1 en polarisation HV. Ces opérations ont permis de rehausser les discontinuités hydrostructurales des images, caractérisant les accidents tectoniques qui matérialisent des chéneaux souterraines.

MOTS CLÉS: C-SAR/SENTINEL-, Réduction de chatolement, Département de Boundiali, Côte d'Ivoire.

Received 15 Mar, 2022; Revised 28 Mar, 2022; Accepted 31 Mar, 2022 © The author(s) 2022.

Published with open access at www.questjournals.org

I. INTRODUCTION :

En raison de la nature cohérente du signal RADAR à synthèse d'ouverture (RSO), les images RSO polarimétriques sont affectées par le bruit de chatolement (Josaphat et al., 2008). L'effet du chatolement peut être sévère au point de rendre inutilisable la donnée RSO. Ceci est particulièrement vrai pour les données à une vue qui favorisent un chatoyer très intense. Un filtrage de bruit est nécessaire pour améliorer l'estimation des paramètres polarimétriques pouvant être calculés à partir de ce type de données. Cette opération constitue une étape très importante dans le traitement et l'analyse des images radar à synthèse d'ouverture. Dans cet article, un modèle de chatolement qui fournit un cadre pour la modélisation et la réduction du chatolement. Des critères à la fois quantitatifs et qualitatifs, incluant la réduction du chatolement et la préservation de la texture sont utilisés pour évaluer les performances du filtre proposé. Des images C-SAR IW/ SENTINEL-1 en polarisation VV+HV du département de Boundiali dans la région de la Bagoué au Nord de la Côte d'Ivoire, sont utilisés. Les filtres proposés sont testés sur différentes partie de la zone d'étude afin de ne retenir celui qui présente un bon compromis. Le filtre choisi peut être utilisé dans différentes applications incluant la cartographie, la foresterie et

l'hydrogéologie dans le contexte de l'estimation de la biomasse ou de la recherche de fractures géologiques pour l'implantation de forages.

II. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE :

2 – 1 Situation géographique

Située au nord de la Côte d'Ivoire, le département de Boundiali forme avec celui de Kouto et de Tingréla la région de la Bagoué. Le département de Boundiali est situé entre la longitude 6° et 7° Ouest, puis la latitude 9° et 10°30 Nord. Elle couvre une superficie de 4 302 km², soit 1,33% du territoire national. Sa population est estimée à 127 684 habitants (RGPH 2014), soit une densité moyenne de 29,68 habitants au km². Il est limité à l'Est par le département de Korhogo, à l'Ouest par le département de Madinani, au Sud par les départements de Kani et de Dianra, au Nord par le département de Kouto, au Nord-Est par le département de M'Bengué et au Sud-Ouest par le département de Séguelon. (Figure 1).

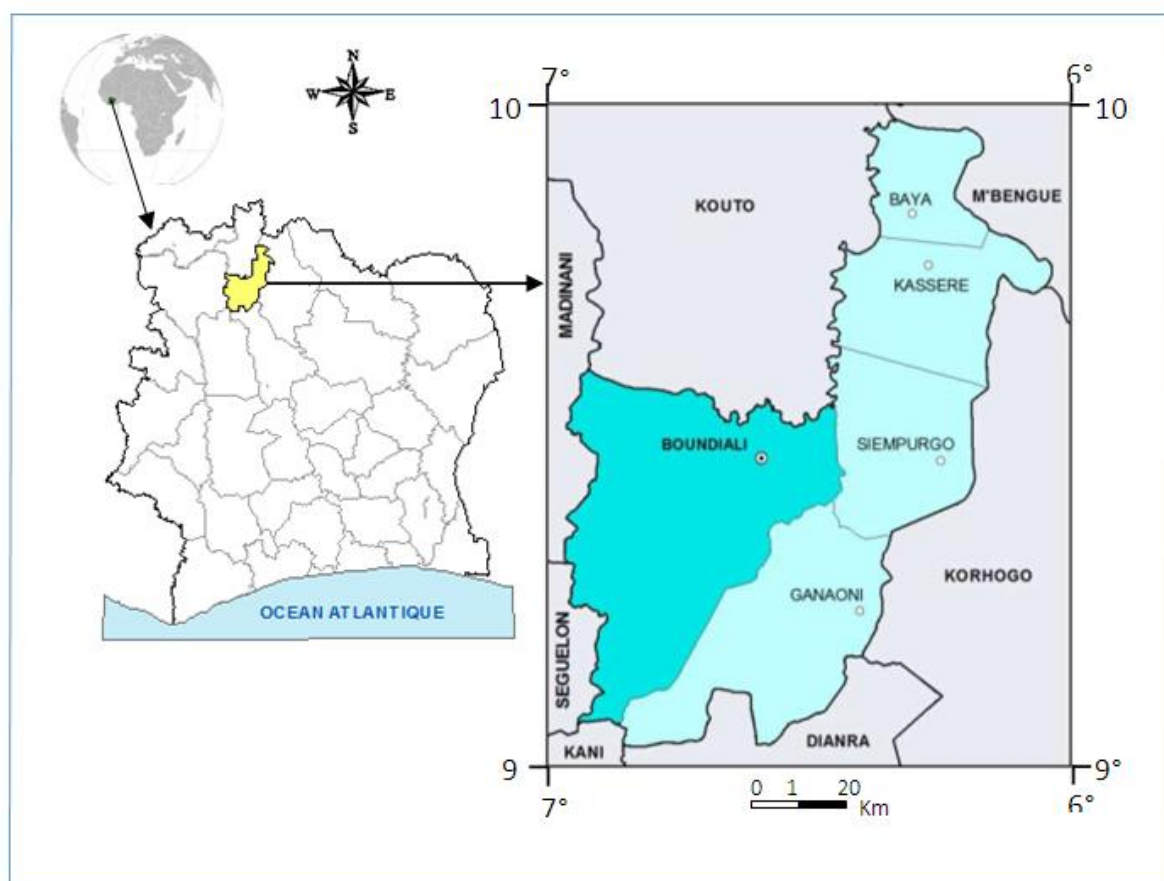


Figure 1 : Situation géographique du département de Boundiali

2 – 2 Cadre géographique et climatique

La morphologie du département de Boundiali est caractérisée par la massivité des formes sans reliefs véritablement élevés. Elle résulte de la longue histoire de l'évolution de la plate-forme éburnéenne en milieu subsahélien (Bruzon, 1990). Elle se présente comme une pénéplaine dominée par des systèmes de collines et de glacis cuirassés. Les collines se rencontrent dans le Nord-Ouest sous des formes variées : chaîne de collines, dômes cristallins, barres entrecoupées de vallées et plateaux de 600 à 800 m d'altitude. Les glacis cuirassés se retrouvent au Centre, à l'Est et au Nord du département, avec des altitudes allant de 300 à 400 m. Les contrastes du relief se répercutent sur la répartition spatiale de la végétation. À l'Est et dans la zone centrale prédomine la savane arborée et arbustive ponctuée d'îlots de forêts claires. Dans l'Ouest, la savane boisée et des forêts claires prennent le pas sur les savanes arborées. Des forêts galeries se développent le long des cours d'eau avec des zones de bas-fonds.

Au plan climatique, le département fait partie du domaine soudanais de type soudanoguinéen à régime tropical de transition s'étendant d'Ouest en Est, d'Odienné à Téhini (NEA, 1978). Ce climat est caractérisé par une seule saison des pluies d'avril-mai à octobre (De la Tour et al., 1963). Le maximum de pluie est concentré dans les mois de juillet, août et septembre avec plus de la moitié des précipitations enregistrée aux mois d'août

et septembre. Le pic pluviométrique se signale particulièrement en août. La saison sèche prend le relais d'octobre à avril. Elle se manifeste dans le département par de longues sécheresses de l'air, des contrastes thermiques quotidiens importants, de la brume sèche de l'harmattan (Arnauld, 1987). Elle est aussi marquée par de fortes insulations avec une température ambiante moyenne de l'ordre de 27,5°C

2 – 3 Contexte géologique

L'aperçu géologique proposé dans cette étude est extrait de la synthèse issue des travaux de (Kouamelan (1996) et Doumbia (1998). Dans cette synthèse sont décrites l'histoire du craton ouest-africain et celle des formations géologiques de la Côte d'Ivoire et particulièrement celle des formations de la région de la Bagoué. Les formations de la zone étudiée sont du domaine protérozoïque inférieur et archéen ; encore appelé domaine Guinée-Liberia-Côte d'Ivoire. Ce domaine se trouve à l'Ouest de la faille du Sassandra. Il est orienté Nord-Sud. Le domaine éburnéen ou domaine Côte d'Ivoire-Burkina Faso-Ghana, à l'Est de la faille du Sassandra, constitue l'essentiel des formations géologiques du territoire ivoirien. C'est un mélange de roche libérien reprises par l'orogénèse éburnéenne, et de roches birimiennes (2000-1800 Ma). Il renferme des dépôts volcaniques, volcano-sédimentaires et des sédiments détritiques des sillons intra-cratoniques, des conglomérats et roches associées surmontant les dépôts birimiens par endroits, et les massifs granitiques de l'Eburnéen.

Les formations éburnéennes, essentiellement constituées de granitoïdes, se composent de granites (à biotites hétérogènes, à deux micas type Ferké), de migmatites postbirimiennes (roches granitisées et/ou fortement métamorphisées) et de granodiorites (roches granitiques intrusives et métasomatiques). Ces formations granitiques occupent la majeure partie de la région. Généralement peu accidentés, elles forment des dômes isolés (figure 5).

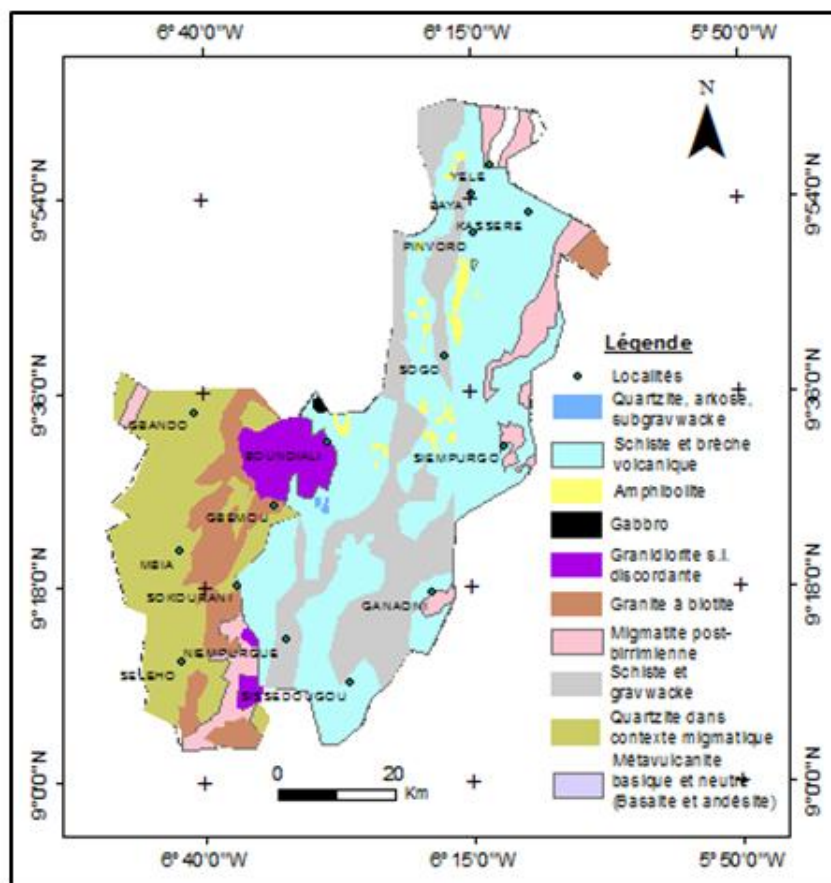


Figure 2 : Esquisse géologique du département de Boundiali

III. DONNEES ET MATERIEL :

L'instrument C-SAR (Synthetic Aperture Radar) est un radar à synthèse d'ouverture fonctionnant en bande C. Pour l'étude, nous avons disposé de quatre scènes C-SAR acquises le 13 février 2019 en bande C avec une longueur d'onde $\lambda=5,5$ cm, de polarisation VV+HV, distribuée gratuitement par l'ESA sur le site <http://earthexplorer.usgs.gov/> (Filipooni 2019 ; Amitrano et al. 2014 ; ESA, 2014) dont les caractéristiques sont décrites au **tableau I**. Le mode IW (Interferometric Wide) a une fauchée de 250 km et une résolution de 2x20 m

Tableau I : Données C-SAR/ du satellite SENTINEL-1 en mode IW

Fréquence (GHz)	Mode Image	Fauchée (km)	Résolution Gr × Az (m)	Polarisation	Produit de donnée
5,4	IW	250	5 x 20	VV+VH	GRD

IW = Interferometric Wide, VV = Verticale-Verticale, VH = Verticale-Horizontale, GRD = Ground Range Detected L'exploitation des images C-SAR est faite à partir de l'outil SNAP de l'ESA pour l'orthorectification, ENVI 5.3 pour les traitements des images.

IV. MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE :

L'exploitation des images radar C-SAR SENTINEL-1 est basée sur le processus décrit à l'organigramme de la **figure 3**. Dans cette étude, les points 1 -2 - 3 - 4 - 5 - 7 - 8 - 9. Sont à titre indicatif. Seul le point - 6 - (Speckle Filtering) va faire l'objet d'étude.

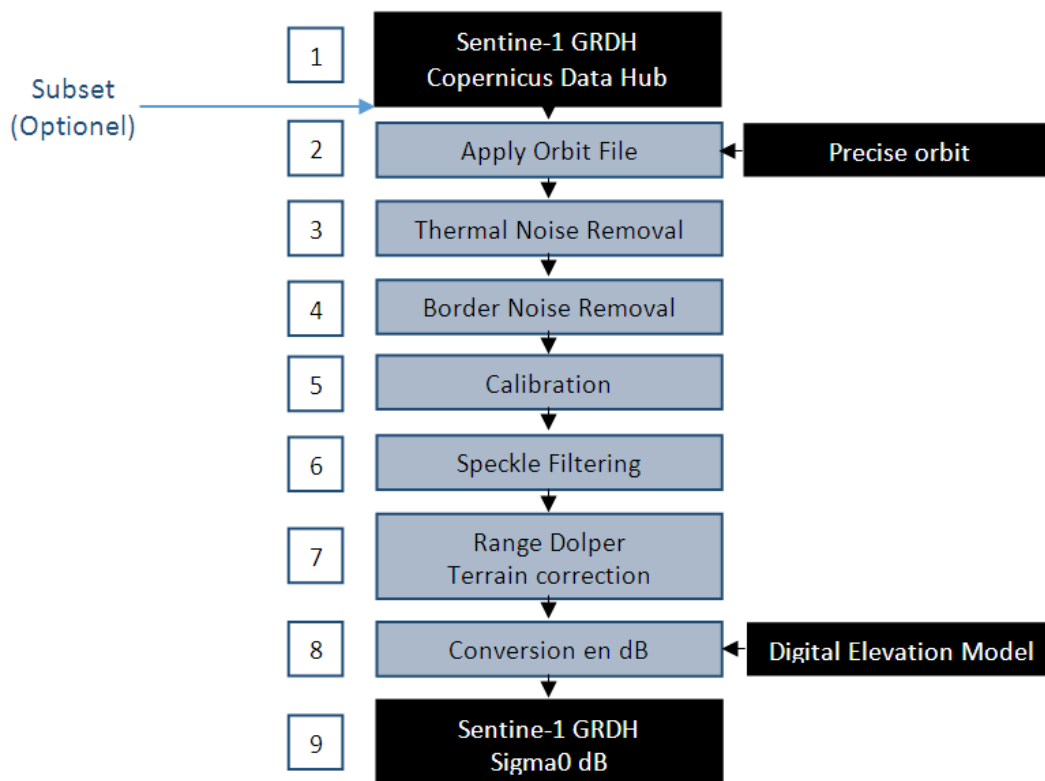


Figure 3 : Étapes de traitement des images C-SAR SENTINEL-1

4 – 1 Technique de réduction de chatoiemnt

Un pixel sur l'image C-SAR contient un signal en intensité qui correspond aux rétrodiffusions de très nombreux réflecteurs présents sur la surface imagée par le capteur. Le signal total contenu dans un pixel est donc une superposition cohérente de l'ensemble des contributions des signaux rétrodiffusés par chaque réflecteur de la surface (Henry, 2004, Ulaby et al. 1986) La phase de chaque réflecteur est corrélée à la distance entre ces réflecteurs et le satellite mais également avec les propriétés physiques et électromagnétiques des réflecteurs. Ainsi, ce grand nombre de réflecteurs est à l'origine d'interférences entre les signaux rétrodiffusés par chaque réflecteur, à l'origine de l'effet poivre et sel (chatoiemnt ou "speckle") observé sur les images SAR. Goodman (1976) préconise l'étude des propriétés du bruit en termes statistiques compte tenu de la complexité de la structure réfléchissante.

Smara (2005) modélise le bruit en s'appuyant sur le modèle gaussien en imagerie SAR. Pour l'étude, il a été nécessaire d'adapter les paramètres des filtres spatiaux de réduction du chatoiemnt aux changements locaux de l'image.

4 – 1 – 1 Paramètres de filtrage de chatoisement

Dans cette étude, sur la base des missions de terrain, et des données exogènes existantes, trois zones tests homogènes (eau, savane et habits et sols nus) ont été retenues. Pour valider de la bonne réduction de chatoisement sur les zones à tester, sont calculés six paramètres statistiques (Bouchemark et *al.*, 2011) illustrées dans les équations 1 à 6) :

$$\text{L'écart-type} : \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N_W-1} \sum_{j=0}^{N_W-1} (y(i,j) - \mu)^2}{N^2}} \quad \text{Eq. 1}$$

$$\text{Moyenne} : \mu = \frac{\sum_{i=0}^{N_W-1} \sum_{j=0}^{N_W-1} y(i,j)}{N^2} \quad \text{Eq. 2}$$

$$\text{Coefficient de variation} : C_v = \frac{\sigma}{\mu} \quad \text{Eq. 3}$$

$$\text{Nombre équivalent de vue} : \text{ENL} = \frac{1}{C_v} \quad \text{Eq. 4}$$

$$\text{Résolution radiométrique} : \text{RR (dB)} = 10 \log \left[10 + \left(\frac{\sigma}{\mu} \right) \right] \quad \text{Eq. 5}$$

Coefficient de préservation des contours : IPC

$$\text{IPC} = \frac{\sum_{i=0}^{N_W-1} \sum_{j=0}^{N_W-1} |y(i,j) - y(i-1,j+1)|}{\sum_{i=0}^{N_W-1} \sum_{j=0}^{N_W-1} |x(i,j) - x(i-1,j+1)|} \quad \text{Eq.6}$$

Où x et y désignent respectivement le pixel original et le pixel filtré.

Une comparaison des paramètres statistiques calculés sur les trois zones homogènes avant et après filtrage et une évaluation des filtres spatiaux sera déterminée. Notons qu'un bon filtrage dans les zones homogènes est assuré par une valeur de coefficient de variation C_v faible, une diminution de la valeur de l'écart-type σ , une conservation globale de la moyenne μ , une augmentation de la valeur de l'ENL et une diminution de la valeur de la résolution radiométrique RR.

La réduction ou l'élimination du chatoisement qui facilite l'exploitation des images C-SAR, fait intervenir les méthodes de filtrage adaptatif utilisant des opérateurs locaux. Il s'agit des filtres de Frost amélioré, Lee amélioré et Gamma et de Lee amélioré (Lopes et *al.*, 1990). Le but principal de ces filtres est de supprimer tout contraste dans les zones de faible écart-type tout en le conservant dans les zones de contours.

4 – 1 – 2 Zones tests homogènes dans l'image C-SAR

Les images d'amplitudes C-SAR mono-looks étudiées, ont une distribution de chatoisement qui répond au modèle gaussien. Pour le calcul des paramètres de variation locale du chatoisement devant servir au filtrage spatial, les visites de terrain ainsi que des cartes de reconnaissance ont permis de sélectionner trois zones-tests homogènes (**figure 4**) : eau, habitat/sol nus et savane . En termes de représentativité, la taille des zones sélectionnées est au moins supérieure à 600 pixels.

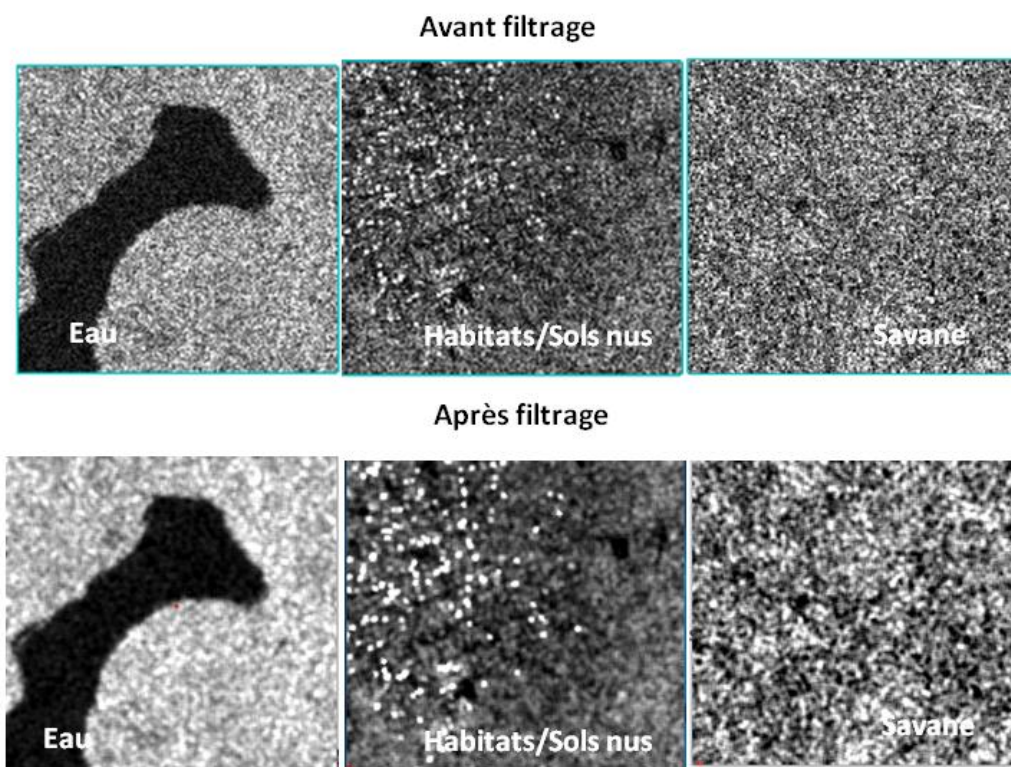


Figure 4 : Sélection des zones tests homogènes dans l'image d'amplitude C-SAR IW

Dans ce procédé, la réduction du chatoiemment et la restauration parfaite du signal original tiennent compte de l'hétérogénéité de surface observée. La connaissance de l'hétérogénéité des images radar repose sur la détermination des valeurs de coefficient de variation locale (rapport moyenne et variance locale) sur chaque fenêtre de traitement.

Selon Smara (2005), ces valeurs permettent de distinguer sur l'image, trois types de zones : zone homogène ($C_l \leq C_v$), zone hétérogène ($C_l \leq C_v \leq C_{max}$) et zone très hétérogène ($C_l \geq C_{max}$).

4 – 1 – 3 Évaluation des filtres

L'évaluation de performance des filtres repose sur un certain nombre de paramètres statistiques calculés sur les trois zones homogènes avant et après filtrage. Notons qu'un bon filtrage dans les zones homogènes est assuré par une valeur de coefficient de variation C_v faible, une diminution de la valeur de l'écart-type σ , une conservation globale de la moyenne μ , une augmentation de la valeur de l'ENL et une diminution de la valeur de la résolution radiométrique RR. Cette dernière consiste à vérifier la netteté de l'image de même que la préservation des contours et des structures. D'un algorithme à l'autre, l'évaluation est faite pour des filtres de même taille à partir de l'analyse des critères. Le plus performant des filtres est celui qui présente un très bon compromis.

V. PRINCIPAUX RESULTATS

5- 1 réduction de chatoiemment

5 – 1 – 1 Filtrage spatial des images C-SAR

La **figure 4** ci-dessous présente quelques résultats de l'application des filtres de réduction de chatoiemment sur des images C-SAR IW.

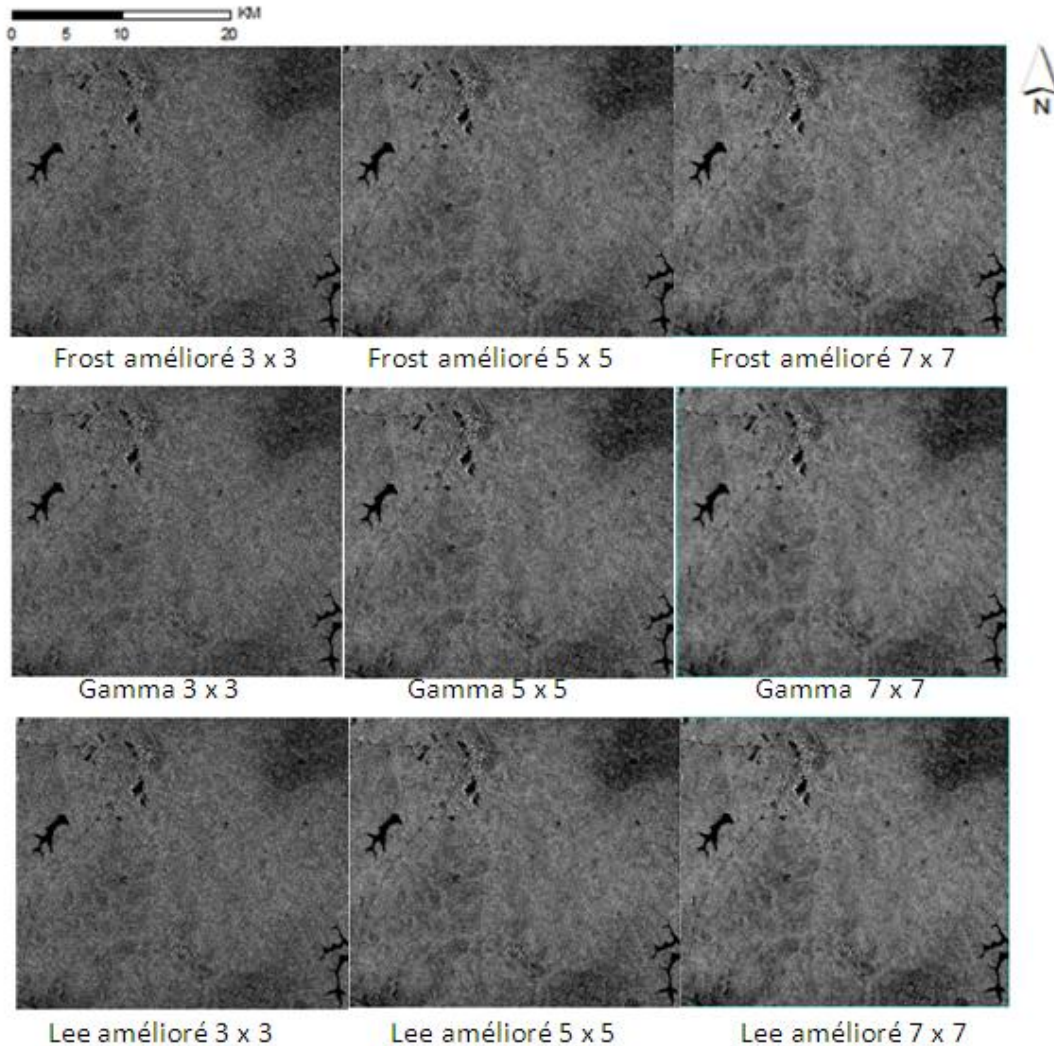


Figure 5 : Applications des filtres spatiaux de réduction de chatoiemnt dans l'image d'amplitude CSARIW/SENTINEL-1 du département de BOUNDIALI (fenêtre 420x420)

Une bonne élimination de chatoiemnts dans les zones homogènes est assurée à partir des paramètres de coefficients de variation utilisés. Ces filtrages préservent les structures fines, la texture et les contours des images C-SARIW/SENTINEL-1. Pour l'ensemble des filtres utilisés, la matrice de taille 5x5 assure un résultat bien meilleur.

De tous ces filtres, les filtres de Lee amélioré et Frost amélioré observent une bonne réduction du chatoiemnt dans les zones homogènes. Ces filtres conservent la radiométrie moyenne de l'image. Dans le cas de Lee amélioré, les transitions entre contours et lignes sont préservées. Les contrastes de contours et de lignes sont moyennement accentués que dans le cas de Frost amélioré.

Le filtre Gamma présente l'avantage de bien lisser les zones homogènes sans toutefois préserver la radiométrie moyenne qui semble plus accentuée dans l'image C-SAR IW. De plus, il rehausse mieux les forts réflecteurs.

Tableau II : Valeurs ENL et du coefficient de variation locale de l'image ASAR-IMP.

Zones test homogènes	Image originale				Image filtrée (Lee amélioré 5x5)				
	Moyenne (μ),	Ecart- type (σ),	ENL	C_v	Moyenne	Ecart- type	ENL	C_v	IPC
Eau	180,371	51,36	1,82	0,74	180,368	42,55	9,23	0,55	0,987
Savane	287,66	35,87	4,17	0,49	285,512	33,28	11,58	0,42	1,09
Habitats/Sols nus	26,04	70,48	0,181	2,34	25,591	98	7,58	0,60	0,971

Etat de la zone : homogène hétérogène très hétérogène

Le **tableau** ci-dessus donne les valeurs statistiques des cinq paramètres à savoir la moyenne (μ), l'écart-type (σ), le nombre de vues (ENL), le coefficient de variation (C_v) et le coefficient de préservation des contours (IPC) des zones tests supposées homogènes.

Une valeur de l'IPC proche de 1 et des valeurs presque identiques de la moyenne confirme l'aptitude du filtre de LEE amélioré de taille 5x5 à préserver les contours et les détails de l'image.

De même, une nette diminution du coefficient de variation C_v et de l'écart-type de l'image originale par rapport à l'image filtrée, ainsi qu'une augmentation du nombre équivalent de vues (ENL), révèle un bon filtrage des zones homogènes.

L'effet du filtre observé au travers des valeurs du coefficient de variation (C_v) varie d'une unité d'occupation à l'autre ou d'une zone homogène à l'autre, permettant ainsi de distinguer dans l'image originale C-SAR / SENTINEL-1, trois (3) types de zones (**Tableau II**) :

- une zone homogène : les habitats et les sols nus qui présentent des valeurs $C_v \leq 0,34$;
- une zone hétérogène : l'eau pour laquelle $C_v = 0,74$;
- une zone très hétérogène : la savane qui a un $C_v = 0,49$.

Ce dernier est moins efficace en zones de savane où ont été notée une très faible diminution du C_v et de l'écart type. Par contre dans les cours d'eaux et les lacs, les filtres sont plus efficaces.

5 – 1 – 2 Évaluation qualitative des filtres

Les valeurs des critères de choix basés sur le calcul des paramètres de filtrage et le critère visuel ont permis l'évaluation des filtres spatiaux de réduction de chatoiement (**Tableau III**).

Tableau III : Évaluation statistique des filtres de réduction de chatoiement des images C-SAR IW/SENTINEL-1 (fenêtre 420x420).

Image originale		Moyenne (μ)	Ecart type (σ)	ENL	RR	Critère visuel	
		164,690	52,57	4,18	1,152		
Image filtrée	FROST amélioré $C_v=0,27$, $k=1$	3x3	167,41	32,36	4,24	1,13	++
		5x5	166,10	32,93	6,27	0,99	+++
		7x7	170,31	32,40	4,21	1,10	+
	GAMMA $C_v=0,27$	3x3	169,92	32,50	5,28	0,098	++
		5x5	170,95	32,67	5,26	1,12	+++
		7x7	167,23	32,91	7,24	1,08	+
	LEE amélioré $C_v=0,27$	3x3	182,85	33,30	9,27	0,87	++
		5x5	165,21	27,26	15,25	0,58	+++
		7x7	168,49	32,88	10,29	1,124	+

Choix des filtres : 1er choix : 2^e choix 3^e choix :

Au regard de ces cinq critères (à savoir : la moyenne (μ), l'écart-type (σ), le nombre équivalent de vues (ENL), la résolution radiométrique (RR) et le critère visuel), le filtre de LEE amélioré de taille 5x5 présente le meilleur compromis permettant ainsi de réduire nettement le chatoiement dans l'image C-SAR IW/SENTINEL-1. Après examen des paramètres sur les performances à préserver les contours, les textures, les structures fines ainsi qu'une bonne appréciation visuelle de l'image C-SAR/SENTINEL-1, le filtre de LEE amélioré de taille 5x5 ont été retenu.

5 – 1 – 3 Caractère homogène des zones tests

Les valeurs des paramètres ENL et C_v spécifiant le caractère homogène des occupations du sol sont consignées au **tableau II**. L'eau, la savane, les habitats et sols nus pour lesquelles $C_v = 0,26$ manifestent un caractère homogène après le filtrage spatial. L'eau lisse pourtant très hétérogène, est plus sensible à la réduction du chatoiement où 100% de bruits sont éliminés. Les sols humides et l'eau rugueuse pour lesquels C_v est compris entre 0,26 et 1,23 demeurent hétérogènes. Ces zones sont moins sensibles à la réduction de chatoiement compte tenu de leur forte rugosité et des propriétés diélectriques des réflecteurs qui les confondent aux bruits. L'hétérogénéité de l'eau rugueuse (lagune Ebrié) est aussi due aux matières en suspensions constituées pour la plupart de végétaux aquatiques. Plus une image SAR comporte des regroupements de surface homogène, meilleur est la qualité de la réduction ou l'élimination des bruits de chatoiement dans ces zones homogènes. Le caractère homogène de la représentativité des éléments au sol définit des faciès-image pouvant être cartographiés par segmentation.

Les valeurs des paramètres ENL et C_V spécifiant le caractère homogène des occupations du sol sont consignées au **tableau II**. La répartition des différents types d'occupation du sol à travers les zones tests sélectionnées montre que les habitats et les sols nus sont plus sensibles à la réduction du chatolement suivie de l'eau et enfin de la savane. Ce dernier est moins sensible aux filtres de réduction de chatolement, compte tenu de sa forte rugosité manifestée par une forte hétérogénéité et semble moins sensible au filtrage spatial de réduction de chatolement. Les filtrages adaptatifs (Frost amélioré, Gamma et LEE amélioré) de réduction de chatolement utilisés, préservent les structures fines, la texture, les contours et la radiométrie dans les images C-SAR. Plus une image SAR comporte des regroupements de surface homogène, meilleur est la qualité de la réduction ou l'élimination des bruits de chatolement dans ces zones homogènes. Le caractère homogène de la représentativité des éléments au sol définit des faciès-image pouvant être cartographiés par segmentation. Dans l'ensemble, la matrice de taille 5x5 assure un résultat bien plus meilleur. Les filtrages ont effectivement éliminé les chatolements dans les zones homogènes. La comparaison (figure 34) entre les images non filtrées et filtrées en polarisation HV, montre que le filtre de LEE amélioré de taille 5x5 préserve un lissage atténué des zones homogènes en diminuant l'aspect granulaire du chatolement surtout dans les zones d'habitat et sols nus. Ce filtre entraîne un léger lissage des zones homogènes, diminue l'aspect granulaire de chatolement, préservent les zones hétérogènes et les structures fines.

VI. CONCLUSION

La réduction du chatolement dans les images C-SAR/SENTINEL-1 étudiées s'est appuyée sur les variations spatiales du signal en utilisant les statistiques locales du signal bruité comme le préconisent divers auteurs (Goodman, 1976 ; Bruniquel et Lopes, 1997 ; Ulaby *et al.* 1986 ; Assoma *et al.*, 2011). Les paramètres statistiques de premier ou second ordre du chatolement utilisés dans cette étude pour améliorer la réduction du chatolement ont déjà été abordés par divers auteurs (Nezry *et al.*, 1995 ; Bouchemakh *et al.*, 2005 ; Smara, 2005 ; Huang *et al.*, 2009). La méthode utilisée a prouvé son efficacité dans la réduction du chatolement des images ASAR où seulement trois algorithmes sont évalués. Cependant, la performance des filtres utilisés est tributaire du modèle d'image et du caractère homogène qui est plus sensible à la réduction du chatolement. Les algorithmes utilisés ont permis de préserver les détails de l'image ASAR et un bon filtrage sur les zones homogènes. L'intérêt de la méthode de réduction du chatolement présentée dans ce travail réside dans la détermination des paramètres statistiques locaux qui définissent des zones homogènes et leur caractère à conserver les contours. Une autre manière de traiter le problème de chatolement serait d'associer à l'image SAR, une représentation multi-résolution comme c'est le cas de Coifman (1992), Serir et Sansal (2002) et Smara (2005).

BIBLIOGRAPHIE

- [1]. Amitrano *et al.* 2014 ; Amitrano, D., Martino, G. D., Iodice, A., Mitidieri, F., Papa, M. N., Riccio, D., & Ruello, G. (2014). Sentinel-1 for monitoring reservoirs: A performance analysis. *Remote Sensing*, 6(11), 10676-10693.
- [2]. Arnould J. C. (1987). Led pays malinké de Côte d'Ivoire (Aire ethnique et expansion migratoire). Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Rouen-Haute Normandie, Tome 1, 270 P.
- [3]. ASSOMA, Vincent Tchimo, KOUAMÉ, Fernand Koffi, RUDANT, Jean-Paul, *et al.* RÉDUCTION DU CHATOLEMENT ET APPORT DES DONNÉES ASAR ENVISAT ET MNE SRTM À LA CARTOGRAPHIE HYDROSTRUCTURALE DU BASSIN CÔTIER DE L'AGNÉBY (SUD-EST DE LA CÔTE D'IVOIRE)/SPECKLE REDUCE AND CONTRIBUTION OF ENVISAT ASAR AND SRTM DEM DATA TO HYDROSTRUCTURAL MAPPING OF AGNÉBY COASTAL BASIN (SOUTH-EASTERN OF CÔTE D'IVOIRE). *Photo Interprétation European Journal of Applied Remote Sensing*, 2011, vol. 47, no 4, p. 88.
- [4]. BOUCHEMAKH L., SMARA Y., BENALI M., BENCHEIKH Z., 2005. Réduction de Speckle dans les Images Radar SAR basée sur la Décomposition Modale Empirique et sur la Décomposition en Ondelettes. *SETIT, 3rd International Conference : Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications*, Tunisia, 6 pp.
- [5]. BRUNIQUÉL J., LOPES A., 1997. Multivariate optimal speckle reduction in SAR imagery. *Int. J. Remote Sensing*, 18 (3) : 603-627.
- [6]. Bruzon V. (1990). Les savanes du Nord de la Côte d'Ivoire, mésologie et dynamique : l'herbe, le feu et le pâturage. Thèse de Doctorat de l'Université de ParisVII.Géomorphologie et dynamique des milieux naturels, 301 P.
- [7]. Dombia (1998). Géochimie, géochronologie et géologie structurale des formations birimienne de Katiola-Marabadiassa (Centre-Nord de la Côte d'Ivoire). Évolution magmatique et contexte géodynamique du paléoprotérozoïque. Thèse de Doctorat de l'Université d'Orléan, Géoscience,263 P.
- [8]. Filipooni Federico (2019=). Flux de travail de prétraitement Sentinel-1 GRD. Acte 18, N°1 : 11.
- [9]. ESA, Mona Riza Mohd, AHMAD, Mohd Riduan, et COORAY, Vernon. Wavelet analysis of the first electric field pulse of lightning flashes in Sweden. *Atmospheric research*, 2014, vol. 138, p. 253-267.
- [10]. Goodman (1976)
- [11]. HENRY J.-B., 2004. Systèmes d'information spatiaux pour la gestion du risque d'inondation de pleine.Thèse Université de Strasbourg 1, 268 pp. Josaphat Tetuko, Sir Sumantyo, Jalal Amini Un modèle de suppression du bruit de speckle dans les images SAR (ALOS PALSAR), *Revue de télédétection* 34 (6), 503-515,2008
- [12]. Lopes *et al.*, A. N.(1990). Géochronologie et géochimie des formations Archéennes et Protérozoïques de la dorsale de Man en Côte d'Ivoire.Implication pour la transition Archéen-Protérozoïque. Thèse de Doctorat de l'Université de Rennes I, 280P.
- [13]. NEA (1978). L'encyclopédie générale de la Côte d' Ivoire : le milieu et l'histoire. Nouvelles Edition africaines, Tome premier, édition France – impressions, 351 P.
- [14]. NEZRY E., LEYSEN M., DE GRANDI G., 1995. Speckle and Scene Spatial Estimators for SAR Image Filtering and Texture Analysis. *Proceedings of SPIE*, Vol. 2584, 110-120. RGPH 2014 Sentinel-1 2013

- [15]. SMARA Y., 2005. Réduction du speckle dans les images SAR : concepts et algorithmes. *SETIT, International conference: sciences of electronic*, Tunisia, 12 pp.
- [16]. ULABY F.T., MOORE R.K., FUNG A.K., 1986. *Microwave remote sensing, Active and passive, vol. III: Volume scattering and emission theory, advance systems and application*. AddissonWesley, Reading, MA.