

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département d'Electronique

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : ELECTRONIQUE

Spécialité : Electronique des Systèmes Embarqués

Par

- **M^{elle} ZAGHDOUD Zineb**
- **M^{elle} NOUIOUA Ahlem**

Intitulé

Etude comparative des techniques de réduction du bruit de speckle dans les images

Soutenu le : 2 juillet 2023

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
Djamel Eddine BOUDECHICHE	MCB	Président	Univ-BBA
Nacira DIFELLAH	MCA	Encadreur	Univ-BBA
Rabah HAMDINI	Dr	Co-encadreur	Univ- BBA
Fouzia HAMADACHE	MAA	Examineur	Univ-BBA

Année Universitaire 2022/2023

Remerciements

Avant tout, je remercie le « Dieu » pour la force, le courage et la volonté qu'il nous a donné pour faire ce mémoire de fin d'études.

*second lieu, Nous tenons à remercier sincèrement notre encadreur **Mme. Nacira DIFFELLAH** enseignante chercheuse au sein de notre département, de tout notre respect pour lui. Pour sa patience à notre égard, son aide, ses précieux conseils, la confiance qu'elle nous a accordée, sa générosité et son suivi constant avec nous tout au long de la durée du projet*

*Nos remerciements s'adressent à notre co encadreur **Dr. Rabah HAMDINI** pour ses conseils et ses aiderions*

*Nous remercions les membres du jury le président et examinateur **Dr Djamel Eddine BOUDECHICHE** et l'examinatrice **Mme Fouzia HAMADACHE**, enseignants chercheurs à l'université de BBA, qui ont pris de leur temps pour juger ce modeste travail, qu'ils trouvent ici l'expression de notre gratitude et tout notre respect. Merci pour la considé*

*Merci également à tous les enseignants qui ont contribué à notre enseignement et à la formation qu'ils nous ont donné au cours des années que nous avons passées , en particulier les enseignants de notre département **d'Electronique** de l'Université **Mohamed El Bachir EL IBRAHIMI Bordj Bou Arreridj***

Enfin, c'est avec grand plaisir que nous gardons ces lignes comme témoignage de nos remerciements, gratitude et appréciation à toutes les personnes qui nous ont encouragés à faire ce travail, tant la famille, le collègue et tous les employés du département d'électronique. et n'oubliez pas nos amis surtout , merci infiniment.

Dédicace

*Je suis heureuse de dédier cet humble travail aux propriétaires de
crédités après "Dieu"*

*A celui à qui je dois tout : A mon cher papa 'Abd Hafidh' pour sa présence
continue, ses efforts, son amour et ses sacrifices.*

*A celle qui m'as permis de devenir ce que je suis aujourd'hui : A ma chère
maman 'Fatima' pour sa patience, son amour, son soutien et ses
encouragements.*

Mes parents, je ne peux jamais rendre ce que vous avez fait pour moi.

A Mon cher grand-père 'Noui'

'A mes chers frères

A ma chère soeur et ses filles

A toute la famille ZAGHDOUD

A tous mes amis.

*A mon binôme Ahlem avec qui j'ai partagé mon espace de travail durant
mes dernières années.*

Une dédicace spécial à Mme: Nacira DIFFELLAH

Zineb ZAGHDOUD

Dédicace

A ma très chère mère

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point vous remercier comme il se doit. Votre affection me couvre, votre bienveillance me guide et votre présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père

Vous avez toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

A mon binôme Zineb avec qui j'ai partagé mon espace de travail durant mes dernières années.

Une dédicace spécial à Mme: Nacira DIFFELLAH

Ahlem NOUOUA

المخلص

في مشروعنا هذا الختامي للدراسة، قدمنا طرق و خوارزميات مخصصة لتقنيات تقليل ضوضاء المضاعفة في الصور مع مراعاة الحفاظ على الحواف. نقترح الطرق التالية: التصفية الخطية مرشح وينر، التصفية غير الخطية ، مرشح كواهارا ، مرشح المتوسط ، مرشح التصفية بالانتشار متباين الخواص . نقوم بمقارنة هذه الطرق باستخدام معايير قياس الجودة الموضوعة بين الصور الأصلية والصور المصفاة : MSE ، SNR ، $PSNR$ ، $SSIM$.

الكلمات المفتاحية : تقليل ضوضاء الصورة ،ضوضاء المضاعفة ، التصفية غير الخطية، التصفية الخطية ،التصفية بالانتشار ،معايير الجودة.

Résumé

Dans ce projet de fin d'étude, nous présentons des méthodes algorithmiques dédiées aux techniques de réduction du bruit de speckle dans les images en tenant compte de la préservation des bords. Nous proposons : le filtrage linéaire : filtre de Wiener, le filtrage non linéaire : filtre de Kuwahara, le filtre médian, et le filtrage par diffusion SRAD. Nous comparons ces méthodes en se basant sur des critères de mesures de qualité objectifs appliqués entre les images originales les images filtrées : MSE , SNR , $PSNR$, $SSIM$.

Mots clés (*) : Débruitage d'image, bruit de speckle, filtrage linéaire, filtrage non linéaire, filtrage par diffusion, mesures de qualité...

Abstract

In this final project, we deal with algorithmic approaches to edge-preserving algorithms for speckle noise reduction in photos. We suggest: linear filtering: Wiener filter , non-linear filtering Kuwahara filter, median filter, and SRAD diffusion filter. Based on objective quality measurement standards that were applied to both the original and the filtered photos, we compare these methods: MSE , SNR , $PSNR$, $SSIM$.

Keywords (*) : Image denoising , speckle noise, linear filtering, non linear filtering, diffusion filtering, quality measurements.

Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Résumé

Sommaire	i
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	v
Liste des abréviations.....	xi
Introduction générale.....	1

PARTIE I : Méthodes de filtrage

I. Introduction.....	3
II. Bruit.....	3
II.1. Définition du bruit.....	3
II.2. Principaux types de bruit.....	3
II.2.2 Bruit convolutif.....	4
II.2.3 Bruit multiplicatif.....	4
II.2.4 Exemple de dégradation d'image.....	5
II.3. Caractéristiques des bruits additif et multiplicatif	6
III. Méthodes de filtrage.....	6
III.1 Définition d'un filtre	7
III.2 Débruitage d'images par filtrage linéaire.....	7
III.2.1 Filtre de Wiener	7
III.3 Débruitage d'images par filtrage non linéaire	8
III.3.1 Filtre de Kuwahara.....	9
III.3.2 Filtre médian	9
III.3.3 Filtre de SARD	10
III.4 Tableau récapitulatif	13
IV. Mesures de qualité des images	13
IV.1. Erreur quadratique moyenne (MSE)	14
IV.2. Rapport signal sur bruit (SNR)	14

IV.3. Rapport crête signal sur bruit (PSNR)	14
IV. 4. Mesure de l'indice de similarité structurelle (SSIM)	15
V. Conclusion.....	15
Partie II : Résultats de simulation	
I. Introduction	16
II. Principe de travail	16
III. Dégradation de l'image.....	17
IV. Filtrage d'image	18
IV.1 Images de test	18
V. Expérience1 : Résultat de test de l'image '24.gif'	20
VI. Expérience2 : Test sur l'image '45.gif'	26
VII. Expérience 3: Test sur l'image 'circuit.tif'	28
VIII. Expérience 4 : Test sur l'image 'phantom.tif'	30
IX. Expérience 5: Test sur l'image 'echographie.jpg'	32
X. Expérience 6: Test sur l'image 'Hurricane Andrew.tif'	34
XI. Interprétation des résultats de simulations	36
XII. Conclusion	39
Conclusion générale.....	
Bibliographie.....	

Liste des figures

Partie I : Méthode de filtrage

Figure. 1. Exemple de dégradation de l'image '113044.jpg'	5
Figure. 2. Principe de fonctionnement de filtre de Kuhawara.....	9
Figure. 3. Un exemple de choix de la zone homogène de quelques images.	12

Partie II : Résultats de simulation

Figure. 1. Modèle de filtrage.....	16
Figure. 2. Distribution uniforme	17
Figure. 3. Images de test.....	19
Figure. 4. Filtrage de image '24.gif'	20
Figure. 5. Comparaison des différentes métriques de l'image '24.gif' pour $\sigma^2 = 0.04$	21
Figure. 6. Représentation graphique du MSE de l'image '24.gif' pour différentes valeurs de la variance	24
Figure. 7. Représentation graphique du SNR de l'image '24.gif' pour différentes valeurs de la variance.	24
Figure. 8. Représentation graphique du PSNR de l'image '24.gif' pour différentes valeurs de la variance.	25
Figure. 9. Représentation graphique du SSIM de l'image '24.gif' pour différentes valeurs de la variance.	25
Figure. 10. Filtrage de image '45.gif'	26
Figure. 11. Comparaison des différentes métriques de l'image '45.gif' pour $\sigma = 0.05$	27
Figure. 12. Filtrage de image 'circuit.tif'	28
Figure. 13. Comparaison des différentes métriques de l'image 'circuit.tif.png' pour $\sigma^2 = 0.03$	29
Figure. 14. Filtrage de image 'phantom.tif'	30
Figure. 15. Comparaison des différentes métriques de l'image 'phantom.tif' pour $\sigma^2 = 0.05$	31
Figure. 16. Filtrage de image 'echographie.jpg'	32
Figure. 17. Comparaison des différentes métriques de l'image 'echographie.jpg' pour $\sigma^2 = 0.09$	33
Figure. 18. Filtrage de image 'Hurricane Andrew.tif'	34
Figure. 19. Comparaison des différentes métriques de l'image 'Hurricane Andrew.tif' pour $\sigma^2 = 0.08$	35

Liste de tableau

Partie I : Méthode de filtrage

Tableau. 1. Les avantages et l'inconvénient des différents filtres.....13

Partie II : Résultats de simulation

Tableau. 1. Paramètre d'image..... 18

Tableau. 2. MSE de l'image '24.gif' bruitée et filtrée pour différentes valeurs de la variance.....22

Tableau. 3. SNR de l'image '24.gif' bruitée et filtrée pour différentes valeurs de la variance.22

Tableau. 4. PSNR de l'image '24.gif' bruitée et filtrée pour différentes valeurs de la variance.....23

Tableau. 5. SSIM de l'image '24.gif' bruitée et filtrée pour différentes valeurs de la variance.....23

Nomenclature

Notations générales

$f(i, j)$	L'image bruitée
$u(i, j)$	L'image originale
$\eta(i, j)$	Le bruit
μ	l'espérance
σ	la variance

Liste des abréviations

dB	Décibels
\hat{u}	Image restaurée
MSE	Erreur quadratique moyenne (Mean Square Error)
SNR	Rapport signal sur bruit (Signal to Noise Ratio).
$PSNR$	Rapport crête signal sur bruit (Peak Signal to Noise Ratio).
$SSIM$	indice de similarité structurelle (Structural Similarity Index).

Introduction générale

Introduction générale

Le filtrage est un concept fondamental dans le domaine du traitement du signal et de l'imagerie, visant à améliorer la qualité des données en éliminant les perturbations indésirables. L'une de ces perturbations courantes est le bruit de speckle, qui affecte les images obtenues à partir de différentes techniques d'imagerie, telles que l'échographie, la télédétection....

Le bruit de speckle est une forme de bruit granulaire spécifique aux images cohérentes, c'est-à-dire aux images formées par interférences cohérentes des ondes. Il est généralement causé par des interactions aléatoires des ondes, qui entraînent une variation de phase et d'amplitude du signal, se traduisant par une apparence granuleuse et texturée sur l'image. Ce bruit est souvent considéré comme un obstacle majeur dans l'analyse et l'interprétation des images, car il peut masquer les détails fins et altérer les caractéristiques structurelles des objets.

Le filtrage du bruit de speckle revêt une grande importance dans de nombreuses applications, car il permet d'améliorer la visibilité des objets et de faciliter leur segmentation, leur classification et leur analyse quantitative. Cependant, le filtrage du bruit de speckle présente des défis particuliers en raison de sa nature statistique complexe et de ses caractéristiques uniques.

Notre mémoire est subdivisé en deux parties :

Dans la première partie, nous examinerons de plus près le bruit de speckle, les principaux types de bruits et les caractéristiques des bruits additif et multiplicatif. Nous présenterons en premier lieu les méthodes classiques de filtrage d'images corrompue par un bruit multiplicatif : le filtre Wiener, le filtre de Kuwahara le filtre médian, puis, nous passerons au filtrage par la technique du filtrage à base des équations aux dérivées partielles (EDP), plus précisément le filtrage par la diffusion non-linéaire anisotrope basée sur le modèle de Perona-Malik. Nous terminerons cette partie par les mesures de qualité : le *MSE* (Mean Square Erreur (Erreur quadratique moyenne)), le *PSNR* (Peak Signal –Noise Ratio (rapport signal sur bruit de crête)), le *SNR* (Signal Noise to Ratio (rapport signal sur bruit)), et le *SSIM* (Structural Similarity

Index Measure (mesure de l'indice de similarité structurelle) pour montrer les performances de chaque méthode de filtrage.

Dans la deuxième partie, nous allons présenter les résultats de simulation des différentes méthodes filtrage .Nous terminons par une conclusion générale et nos perspectives.

Partie I :
Méthode
de
filtrage

Méthodes de filtrage

I. Introduction

Nous entamons dans cette partie la définition du bruit, les principaux types de bruit tels que : le bruit aditif, le bruit convolutif et le bruit multiplicatif. Nous abordons par la suite les caractéristiques du bruit multiplicatif dit speckle. Après, nous donnons un aperçu général sur le filtrage et les types de filtres tels que : le filtre linéaire (le filtre de Wiener) et filtre non linéaire (filtre de Kuwahara, filtre médian et le filtre de diffusion SRAD). Nous terminons par les mesures de qualité utilisés dans ce mémoire : l'Erreur Quadratique Moyenne (*MSE*), le Rapport Signal sur Bruit (*SNR*) le Rapport crête signal sur bruit (*PSNR*) et la mesure de l'indice de similarité structurelle (*SSIM*).

II. Bruit

II.1 Définition du bruit

Le bruit d'image est la présence d'informations parasites qui s'ajoutent de façon aléatoire aux détails de la scène photographiée numériquement, il est plus particulièrement visible dans les zones peu éclairées et il peut se remarquer dans les zones sombres d'une image⁽¹⁾.

II.2 Principaux types de bruit

II.2.1 Bruit additif

Un bruit est dit additif si étant donnée une image non bruitée (observée) u et f la même image avec un bruit additif η , alors chaque pixel est défini par la relation mathématique (1)⁽²⁾:

(1) <https://www.bdphoto.org/2013/04/le-bruit-numerique>

(2) <https://www.slideserve.com/blenda/cours-4-restauration-et-filtrage-d-image>

$$f(i, j) = u(i, j) + \eta(i, j) \quad (1)$$

η est une variable aléatoire de variance σ et d'espérance μ nulle.

Le bruit Gaussien est obtenu en ajoutant à chaque pixel une valeur aléatoire suivant une loi de probabilité gaussienne [1]:

$$G_{\sigma, \mu}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

Les dégradations additives ou multiplicatives sont liées au capteur, à la quantification, à la transmission.

II.2.2 Bruit convolutif

Un bruit convolutif est défini par la relation suivante :

$$f(i, j) = \mu(i, j) * \eta(i, j) \quad (3)$$

* est l'opérateur de convolution ⁽²⁾

Les dégradations convolutives sont liées à un mouvement du capteur ou un défaut de mise au point ⁽¹⁾.

II.2.3 Bruit multiplicatif

Aussi appelé en anglais Speckle. Si étant donnée un image non bruitée u et l'image bruitée f , avec un bruit η , alors chaque pixel est caractérisé par la relation (4) [1] :

$$f(i, j) = u(i, j) \times \eta(i, j) \quad (4)$$

⁽¹⁾ <https://www.slideserve.com/blenda/cours-4-restauration-et-filtrage-d-image>

II.2.4 Exemple de dégradation d'image

La figure 1 montre quelques modèles de dégradation de l'image '113044.jpg'⁽¹⁾



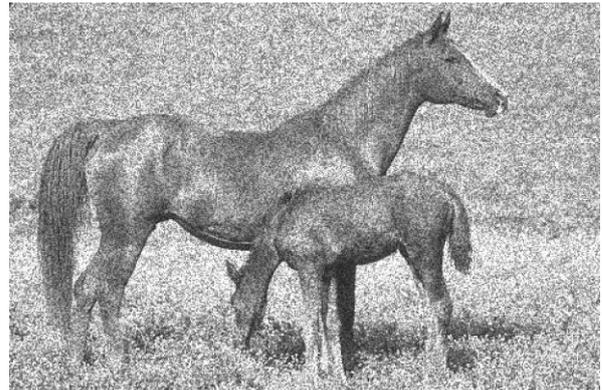
a) Image originale



b) Image floutée



c) Image dégradée par un bruit additif gaussien



d) Image dégradée par un bruit multiplicatif

Figure. 1. Exemple de dégradation de l'image '113044.jpg'

De la figure. 1, nous pouvons voir clairement que :

- L'ajout d'un bruit blanc gaussien sur une image modifie la valeur de chaque pixel (Fig.1.a).
- Le bruit de speckle est décrit par des valeurs aléatoires multipliées par les valeurs de pixels, une granularité est détectée sur l'image (Fig.1.b).
- Un effet de flou est apparu sur l'image de la figure (Fig.1.c).

⁽¹⁾ <https://www2.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision/bsds/BSDS300/html/dataset/images/gray/113044.html>

II.3 Caractéristiques des bruits additif et multiplicatif

Nous résumons les caractéristiques des bruits additif et multiplicatif comme suit [2][3] :

- Une dégradation de type additif est donnée par la relation $f = u + \eta$, qui se traduit par l'équation $F = U + N$ dans le domaine de Fourier. F, U et N sont les transformées de Fourier de f, u et η , respectivement. Nous pouvons tenter d'éliminer le bruit N directement sur le spectre. Dans cas d'un bruit multiplicatif donné par la formule $f = u \times \eta$, nous n'avons plus l'addition des spectres, l'équation temporelle se traduit par une convolution $F = U * N$ dans le domaine spectral .
- Les bruits multiplicatifs sont plus difficiles à filtrer que les bruits additifs.
- Le bruit additif est une variable aléatoire de moyenne égale à 0 par contre le bruit multiplicatif est une variable aléatoire de moyenne égale à 1 .
- Pour le bruit multiplicatif, les pixels dans la zone homogène seront d'autant plus bruités que leur niveau de gris est élevé. Le bruit est donc proportionnel à l'intensité lumineuse.
- Le bruit speckle, connu également sous le nom de bruit multiplicatif, entraîne l'émergence de valeurs isolées nettement distinctes des valeurs des pixels voisins. Il peut provoquer une saturation d'illuminance à certains pixels de l'image.
- Le bruit de speckle a de nombreux effets négatifs sur les images tels que: la réduction de la qualité de l'image, la perte de contraste, l'altération des contours, et un impact sur la détection des structures.

III. Méthodes de filtrage

Le filtrage a pour but de réduire les effets du bruit en conservant les détails, préservant les contours et sans affecter trop l'image. Nous considérons deux types de filtres, nous commençons par les filtres linéaires qui se feront par une convolution d'un filtre exprimé dans le domaine spatial avec l'image, nous prenons comme exemple le filtre de Wiener. Puis nous entamons les filtres non-linéaires tels que : le filtre de Kuwahara et filtre médian et le filtre de diffusion SRAD.

III.1 Définition d'un filtre

L'opération de filtrage d'une image est une technique de traitement d'image qui vise à améliorer la qualité de l'image en supprimant ou en atténuant les parties indésirables de l'image et en mettant en évidence les parties intéressantes. Cela peut également impliquer la modification des propriétés de l'image telles que la netteté, le contraste et la luminosité. Il existe deux types de filtres : les filtres linéaires et les filtres non linéaires [4].

III.2 Débruitage d'images par filtrage linéaire

En traitement d'image, le filtre linéaire consiste à appliquer un noyau linéaire sur chaque pixel de l'image pour effectuer une convolution. Cette convolution est une combinaison linéaire de valeurs de voisinage des pixels pour obtenir une nouvelle valeur de pixel⁽¹⁾. L'application de la formule de convolution peut avoir différents effets sur l'image, tels que la réduction du bruit, l'amélioration de la netteté, le flou. Nous prenons le filtre de Wiener comme exemple :

III.2.1 Filtre de Wiener

Le filtre de Wiener est l'un des plus anciennes et meilleures approches linéaires connues pour le filtrage d'images. Pour rechercher le filtre de Wiener W il faut trouver une estimée \hat{u} qui minimise l'erreur quadratique moyenne définie par :

$$e^2 = E[(u - \hat{u})^2] \quad (6)$$

La solution de l'équation (6) dans le domaine fréquentiel est donnée par :

$$\hat{U} = \frac{|H|^2}{H \cdot |H|^2 + \frac{S_\eta}{S_u}} F \quad (7)$$

Le filtre de Wiener est défini par :

⁽¹⁾ https://fr.wikipedia.org/wiki/Filtre_lin%C3%A9aire?

$$W = \frac{|H|^2}{H \cdot |H|^2 + \frac{S_\eta}{S_u}} \quad (8)$$

Tels que :

$$S_u = |U|^2 \quad (9)$$

$$S_\eta = E[|N|^2] \quad (10)$$

$$H = H \cdot H^* \quad (11)$$

$$R = \frac{S_\eta}{S_u} \quad (12)$$

Où W est le filtre de Wiener, \hat{U} , F , H sont les transformées de Fourier de \hat{u} , f , h respectivement, H^* est le conjugué de H , S_u est la densité spectrale de puissance du signal, S_η est la densité spectrale de puissance du bruit et R est le rapport bruit sur signal qui est

l'inverse du rapport signal sur bruit .

[5][6].

Le filtre de Wiener est très utile pour conserver les détails dans les zones avec des bords ou d'autres caractéristiques de contraste élevé.

III.3 Débruitage d'images par filtrage non linéaire

Bien que les filtres linéaires soient faciles à concevoir et à implémenter, ils ne parviennent pas toujours à éliminer efficacement le bruit. Ces limitations ont motivé la création des filtres non-linéaires, il s'agit de filtres dont le fonctionnement ne peut être défini comme un produit de convolution [5]. D'autre part, les modèles non linéaires peuvent présenter les contours d'une manière bien meilleure que les modèles linéaires.

Le filtre de Kuwahara, le filtre médian et le filtre de SRAD sont des exemples des filtres non-linéaires :

III.3.1 Filtre de Kuwahara

Le filtre kuwahara est un filtre de lissage non linéaire. Il est basé sur l'amélioration du filtre moyenneur. Son principe est le suivant [7][8]:

- Diviser le voisinage en quatre fenêtres carrées (obtenir 4 régions différentes $R_i, i = 1, 2, 3, 4$).
- Calculer la variance de chaque région i des niveaux de gris. ($\sigma_i, i = 1, 2, 3, 4$)
- Trouver la variance la plus petite ($\sigma_k = \min \sigma_i$).
- Choisir la région R_k correspondant à la plus petite variance σ_k .
- Calculer la moyenne de la région qui a la plus petite variance x_k .
- Attribuer au point central x_k la valeur σ_k .
-

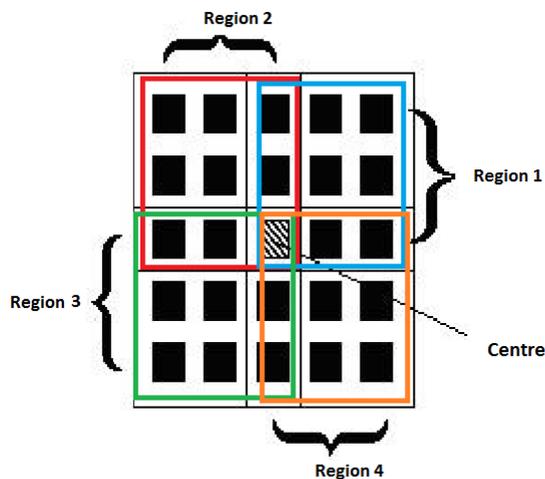


Figure. 2. Principe de fonctionnement de filtre de Kuhawara.

III.3.2 Filtre médian

L'idée principale du filtre médian est de remplacer le pixel central par la valeur médiane des pixels environnants. Ce filtre est plus coûteux en temps de calcul car il nécessite d'effectuer un tri des voisins pour chaque pixel [6][9].

III.3.3 Filtre de SRAD

La diffusion anisotrope (Speckle Reducing Anisotropic Diffusion (SRAD)) est une technique de traitement d'image utilisée pour réduire le bruit multiplicatif présent dans les images. La diffusion anisotrope vise à lisser en réduisant les variations brusques d'intensité, tout en préservant les contours et les détails importants. L'équation de chaleur est la première équation aux dérivées partielles (PDE) utilisée dans le traitement d'images, Perona et Malik [10][11] ont proposé une modification de cette équation afin d'améliorer les résultats.

L'algorithme de réduction de speckle par diffusion anisotrope (SRAD) [12] adopte le format classique de diffusion anisotrope des PDE lorsqu'une image est affectée par un bruit multiplicatif. Ce filtre est inspiré de la méthode de Malik et Perona pour la restauration des images en niveau de gris à base d'équations aux dérivées partielles (EDP). Le filtre de Perona-Malik permet d'atténuer la diffusion dans les régions à fort gradient c'est-à-dire une diffusion minimale au niveau des contours, et de la maintenir dans les zones à faible gradient, Yu et Acton [12] ont développé l'approche SRAD qui fusionne le coefficient de variation instantané ρ avec la diffusion anisotropique. La formule de SRAD s'écrit :

$$\frac{\partial u(x, y, t)}{\partial t} = \text{div}[g(\rho)\nabla u(x, y, t)] \quad (8)$$

$$g(\rho) = \frac{1}{1 + \frac{\rho^2(x, y, t) - \rho_0^2(t)}{\rho_0^2(t)(1 + \rho_0^2(t))}} \frac{1}{1 + \frac{\rho^2(x, y, t) - \rho_0^2(t)}{\rho_0^2(t)(1 + \rho_0^2(t))}} \quad (9)$$

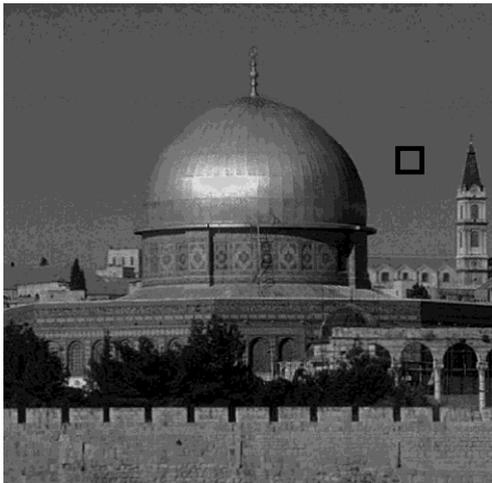
$$\rho(x, y, t) = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{\nabla u}{u^2}\right) - \left(\frac{1}{16}\right)\left(\left(\frac{\nabla^2 u}{u}\right)^2\right)}{\left[1 + \left(\frac{1}{4}\right)\left(\frac{\nabla^2 u}{u}\right)\right]^2}} \quad (10)$$

$$\rho_0(t) = \frac{\sqrt{\text{var}|z(t)|}}{\bar{z}(t)} \quad (11)$$

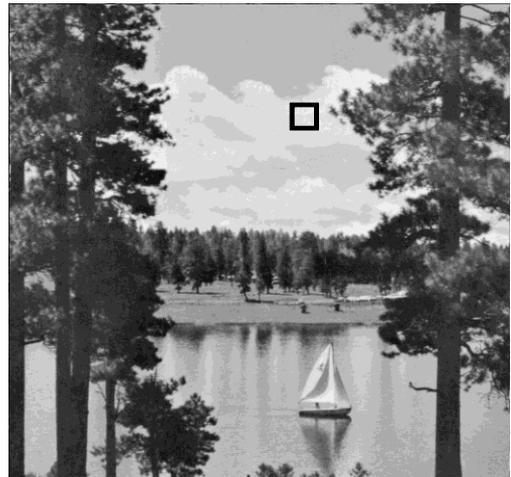
Où $[z(t)]$ et $\bar{z}(t)$ sont respectivement la variance et la moyenne à l'intérieur d'une zone homogène à l'instant t .

Le coefficient de variation est utilisé détecteur de contours. Dans les zones homogènes, quand $\rho(x, y, t) = \rho_0(t)$ nous retombons sur un schéma de diffusion anisotropique de Perona-Malik.

La performance des méthodes de diffusion dépend de la résolution numérique et de la mise en œuvre des EDP. Dans ce filtre, les schémas numériques reposent sur la discrétisation des dérivées des premiers et seconds ordres par les différences finies. Le filtre de SRAD effectue un lissage des zones homogènes tout en renforçant les contours. Le filtre SRAD est très efficace pour réduire les variations de contraste tout en préservant les contours, mais il présente des inconvénients tels que la perte de détails, le temps de calcul important, la sensibilité aux artefacts et la difficulté de trouver la bonne zone homogène. Ci-joint des exemples de choix de la zone homogène :



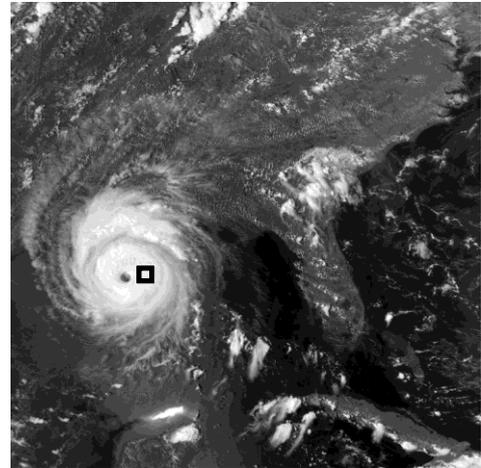
'24.gif'



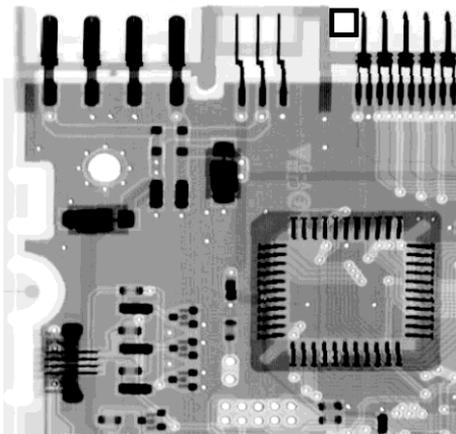
'45.gif'



'phantom.tif'



'Hurricane Andrew.tif'



'circuit.tif'



'échographie.jpg'

Figure. 3. Un exemple de choix de la zone homogène de quelques images.

III.4 Tableau récapitulatif

Le tableau montre Les avantages et l'inconvénient des différents filtres :

Tableau. 1. Les avantages et l'inconvénient des différents filtres.

Type de filtrage	Avantages	Inconvénients
Filtre SRAD	<ul style="list-style-type: none"> -Réduire efficacement le bruit des taches dans les images. -Préserver les contours et les détails fins de manière satisfaisante. -Une bonne qualité visuelle de l'image. 	<ul style="list-style-type: none"> -Réduction du contraste dans certains cas. -Peut entraîner une perte de détails.
Filtre Wiener	<ul style="list-style-type: none"> -Réduction significative du bruit - Conserver les détails importants de l'image. - plus efficace sur l'image bruitée 	<ul style="list-style-type: none"> -Perte de détails exacts lors du filtrage -Défaut de maintenir les bords difficiles -Nécessite une estimation préalable du bruit.
Filtre Median	<ul style="list-style-type: none"> -Réduit le bruit de manière acceptable. 	<ul style="list-style-type: none"> -Ne conserve pas les détails fins. -perte d'information sur l'image filtrée. -forte atténuation de contours.
Filtre Kuwahara	<ul style="list-style-type: none"> -Réduction du bruit et préservation des détails. 	<ul style="list-style-type: none"> -Réduit trop les détails, résultats médiocres -Très mauvaise.

IV. Mesures de qualité des images

Il existe plusieurs mesures de qualité des images, dont voici les plus courantes: le MSE, le SNR, le PSNR et le SSIM .Chacune de ces métriques a ses avantages et ses limites, nous voyons qu'il est judicieux de les utiliser ensemble pour obtenir une évaluation complète de la qualité de l'image.

IV.1 Erreur quadratique moyenne (MSE)

L'image estimée \hat{u} est toujours comparée à l'originale u pour déterminer son rapport de ressemblance. Il est basé sur la mesure de l'erreur quadratique moyenne (MSE) calculée entre les pixels originaux et estimée. [13][14]

$$\text{MSE} = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |u(i, j) - \hat{u}(i, j)|^2 \quad (17)$$

Où $M \times N$ est la taille de l'image, et u , \hat{u} sont respectivement les amplitudes des pixels sur les images originale et estimée et (i, j) représente l'index de ligne et de colonne respectivement.

Plus la valeur de MSE est faible, meilleure est la qualité de l'image.

IV.2 Rapport signal sur bruit (SNR)

Le rapport signal sur bruit est une mesure de la force du signal récupéré par rapport à une image speckle, il est mesuré en décibels (dB) [14] :

$$\text{SNR} = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (u(i, j))^2}{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (u(i, j) - \hat{u}(i, j))^2} \quad (18)$$

Plus le SNR est élevé, meilleure est la qualité de l'image.

IV.3 Rapport crête signal sur bruit (PSNR)

La métrique PSNR mesure la fidélité, puisqu'elle est proportionnelle à la qualité, est une expression du rapport entre la valeur maximale possible (puissance) d'un signal et la puissance du bruit qui affecte la qualité de sa représentation. L'expression mathématique du PSNR est la suivante [13][14] :

$$\text{PSNR} = 20 \log_{10} \left(\frac{d^2}{\sqrt{\text{MSE}}} \right) \quad (19)$$

Plus le PSNR est élevé, meilleure est la qualité de l'image.

d est la valeur maximale possible d'un pixel dans l'image lorsque les pixels sont représentés en utilisant 8 bits par échantillon. Cette valeur est de 255.

IV.4 Mesure de l'indice de similarité structurelle (SSIM)

Le SSIM prend en compte les différences de luminance, de contraste et de structure pour mesurer la similarité entre l'image originale et l'image estimée. Ce paramètre est défini comme suit :

$$\text{SSIM} = \frac{(2\mu_x\mu_y + C1)(2\sigma_{xy} + C2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C2)} \quad (20)$$

μ_x Est la moyenne de x , μ_y est la moyenne de y . σ_x^2 est la variance de x , σ_y^2 est la variance de y . σ_{xy} Est la covariance de x et y . $C_1 = (k_1L)^2$, $C_2 = (k_2L)^2$ sont eux variables sont utilisées pour stabiliser la division avec un dénominateur faible. L Il s'agit de la plage dynamique des valeurs des pixels, $k_1=0.01$ et $k_2=0.03$.

L'indice SSIM résultant est une valeur comprise entre -1 et 1 . La valeur 1 n'est pas disponible et n'est accessible que dans le cas d'une meilleure qualité d'image ou de deux images identiques [15].

V. Conclusion

Dans cette partie, nous avons présenté les différents types de bruits, avec leurs modèles, et leurs caractéristiques. Quatre méthodes de filtrage d'images ont été étudiées : le filtre de Wiener, le filtre de Kuwahara, le filtre médian et le filtre fondée sur la diffusion anisotrope SRAD. Nous avons aussi décrit les différentes métriques utilisées pour évaluer la qualité de l'image filtrée : le MSE, SNR, le PSNR et le SSIM.

Partie II :
Résultats
de
simulation

Résultats de simulation

I. Introduction

Dans cette deuxième partie, nous allons présenter les approches de filtrage permettant de supprimer les effets du bruit : le filtre de Kuwahara, le filtre de Wiener, le filtre de median, et le filtre de diffusion SRAD. Les images sont dégradées par un bruit multiplicatif qui suit une loi de distribution uniforme. Nous allons voir quel est le meilleur filtre qui permet d'éliminer l'effet des perturbations de l'image sans modifier les informations essentielles de l'image (contours, textures, détails, ...). La comparaison entre les différents filtres se fait visuellement et par les différentes mesures de qualité : MSE , SNR , $PSNR$, $SSIM$.

II. Principe de travail

Notre travail est organisé selon le schéma de principe suivant:

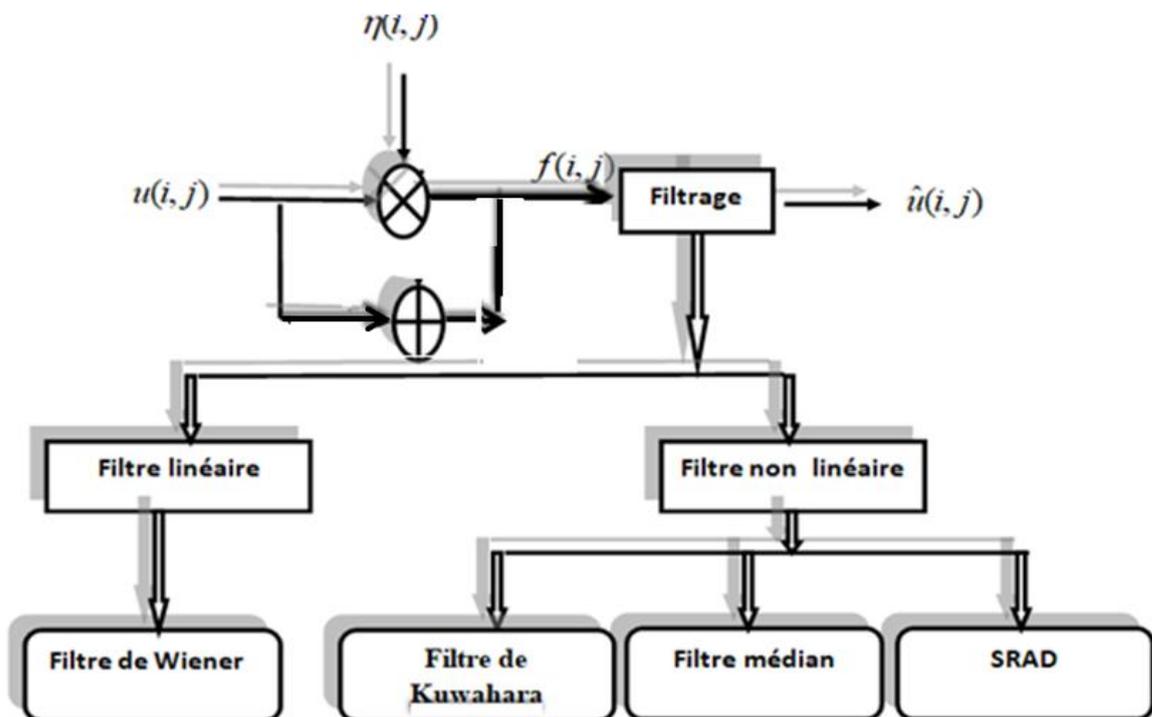


Figure. 1. Schéma de principe de filtrage

III. Dégradation de l'image

La dégradation de l'image suit une loi uniforme. Cette dégradation se fait en ajoutant un bruit aléatoire de type uniforme à l'image originale. Le modèle de débruitage est décrit par la relation :

$$f = u + u \times \eta \quad (1)$$

η Est le bruit uniforme d'espérance nulle et d'écart type σ ajouté à l'image originale.

Rappelons que la distribution uniforme est une variable aléatoire continue pour laquelle toutes les valeurs comprises entre une valeur minimale et une valeur maximale ont la même probabilité. La fonction de densité de probabilité est la fonction constante [6]

$f(x) = \frac{1}{b-a}$, ce qui crée une forme rectangulaire comme le montre la Figure. 1 :

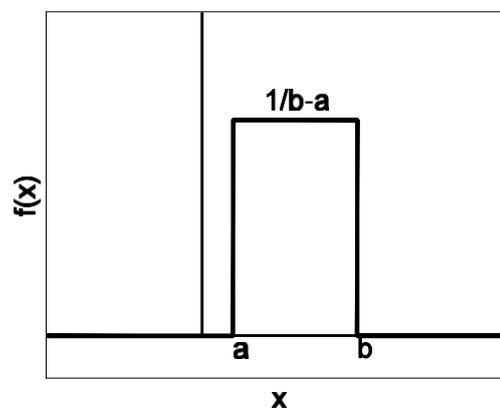


Figure. 2. Distribution uniforme

Les deux paramètres qui définissent la distribution uniforme sont le minimum a et maximum b .

Si la variable aléatoire X suit une loi uniforme sur l'intervalle $[a, b]$ alors :

– L'espérance de X notée $E[X]$ est égale à :

$$E[X] = \frac{a+b}{2} \quad (2)$$

– sa variance σ^2 est donnée par l'équation suivante :

$$\sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{12} \quad (3)$$

- et son écart type σ vaut :

$$\sigma = \frac{b-a}{2\sqrt{3}} \quad (4)$$

Si l'espérance est nulle alors : $a = -b$, $\sigma^2 = \frac{b^2}{3}$ et $\sigma = \frac{b}{\sqrt{3}}$

IV. Filtrage d'image

IV.1 Images de test

Pour tester les différents filtres, nous utilisons les images de la figure 3 décrites par les paramètres suivants :

Tableau. 1. Paramètre d'image.

Image	La variance σ^2	Dimension $M \times N$
'24.gif' ⁽¹⁾	0.04	512×512
'45.gif' ⁽¹⁾	0.05	512×512
'circuit.tif' [6]	0.03	768×512
'phantom.tif' ⁽²⁾	0.05	600×600
'Echographie.jpg'[6]	0.09	400×298
'Hurricane Andrew.tif' ⁽³⁾	0.08	913×913

⁽¹⁾ [dataset of standard 512x512 grayscale test images \(ugr.es\)](http://dataset of standard 512x512 grayscale test images (ugr.es))

⁽²⁾ https://www.imageprocessingplace.com/root_files_V3/image_databases.htm

⁽³⁾ www.nasa.gov

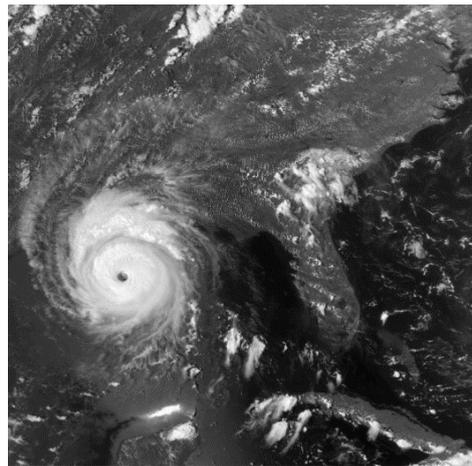
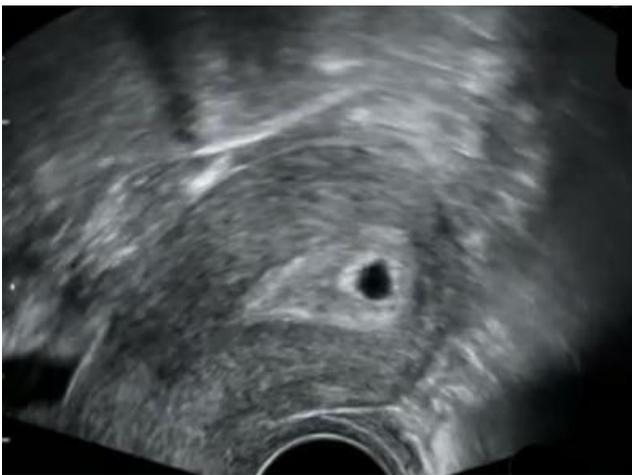
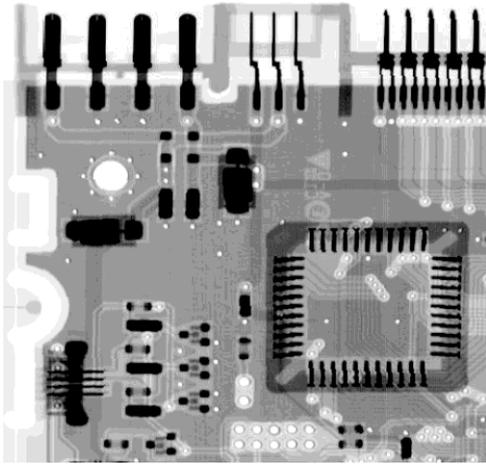
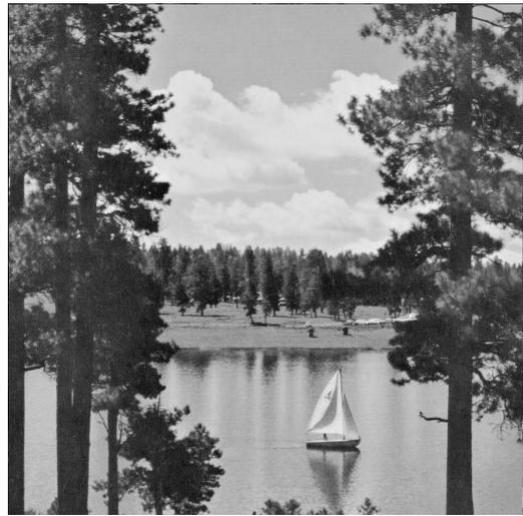


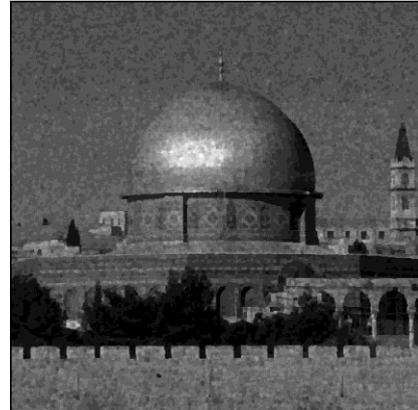
Figure. 3. Images de test

V. Expérience1 : Résultat de test de l'image '24.gif'

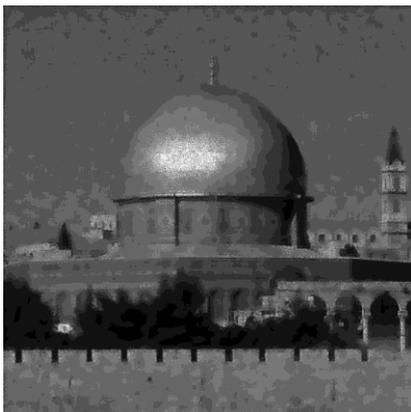
La figure suivante montre les résultats de simulation de filtrage de l'image par les différents filtres :



a) image originale

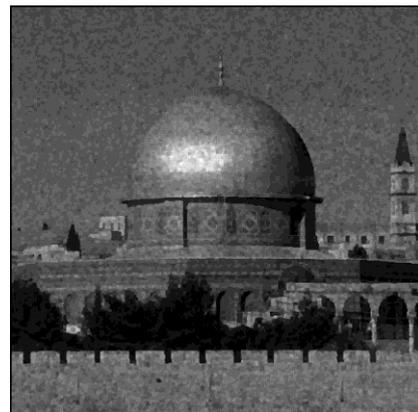


b) image bruitée $\sigma^2 = 0.04$



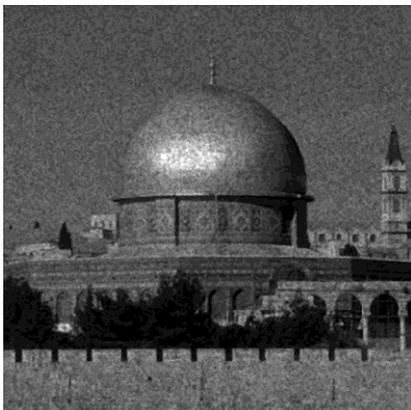
c) Wiener

$MSE = 0.0000000059$ $SNR = 18.9594$ dB
 $PSNR = 28.1051$ dB $SSIM = 0.7235$



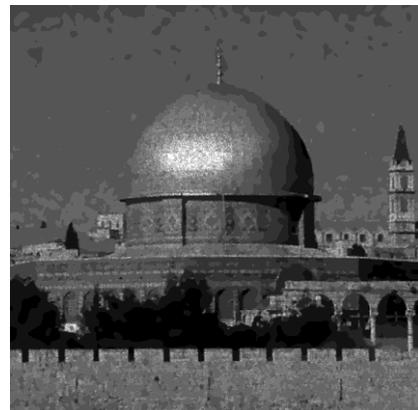
d) Kuwahara

$MSE = 0.0000000241$ $SNR = 15.8362$ dB
 $PSNR = 23.7751$ dB $SSIM = 0.4710$



e) Median

$MSE = 0.0000000073$ $SNR = 18.1549$ dB .
 $PSNR = 27.2725$ dB $SSIM = 0.6047$



f) SRAD

$MSE = 0.0000000051$ $SNR = 19.6858$ dB
 $PSNR = 28.6975$ dB $SSIM = 0.7802$

Figure. 4. Filtrage de image '24.gif'.

Les différentes métriques sont illustrées par la figure ci-dessous :

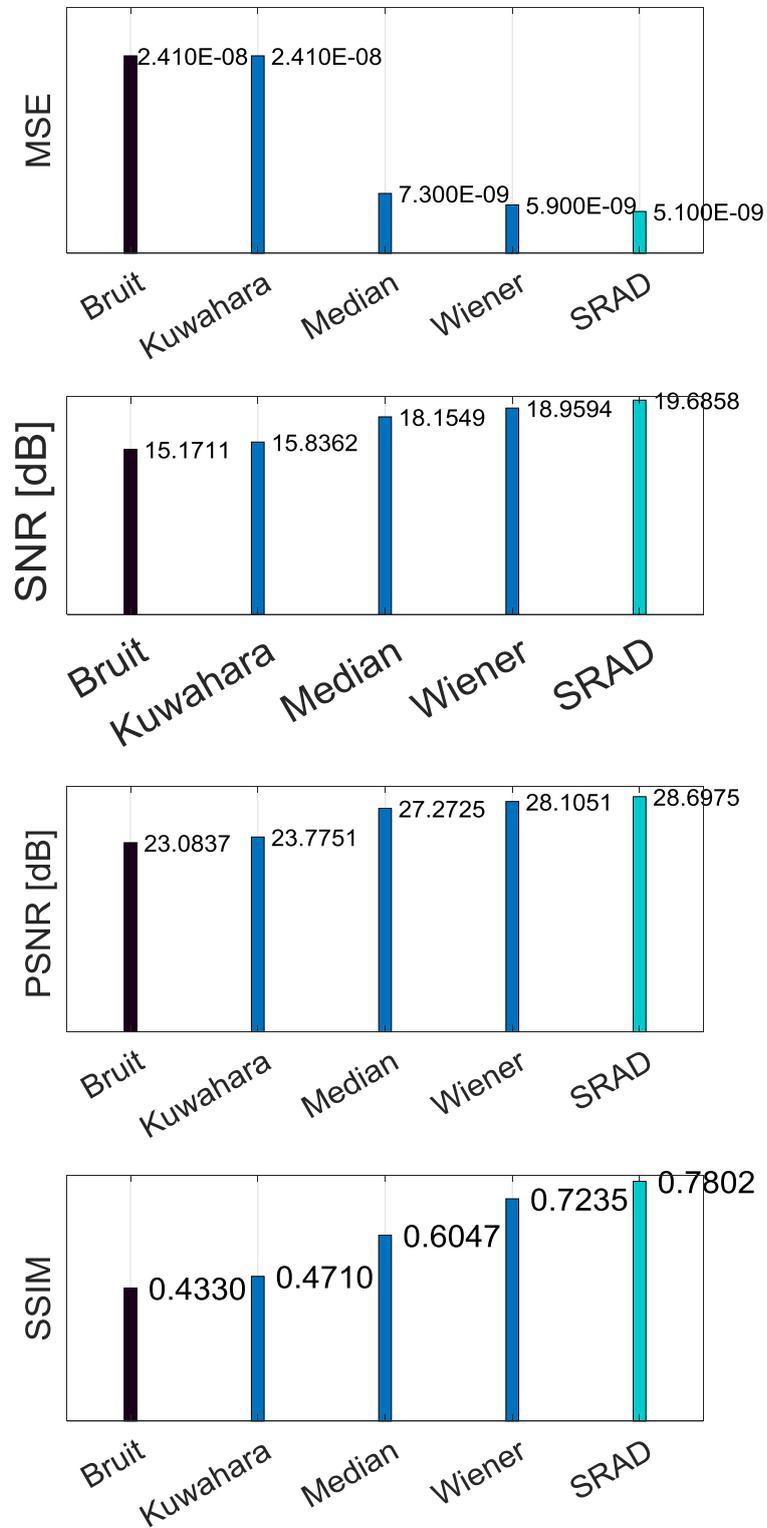


Figure 5. Comparaison des différentes métriques de l'image ' 24.gif' pour $\sigma^2 = 0.04$

Les tableaux 2,3,4 ,5 montrent les métriques *MSE*, *SNR*, *PSNR*, *SSIM* de l'image '24.gif' pour différentes valeurs de variance.

Tableau. 2. MSE de l'image '24.gif' bruitée et filtrée pour différentes valeurs de la variance.

$\text{var} = \sigma^2$	Kuwahara	median	Wiener	SRAD
0.01	0.000000222	0.000000034	0.000000039	0.000000020
0.02	0.000000228	0.000000047	0.000000046	0.000000032
0.03	0.000000236	0.000000060	0.000000053	0.000000041
0.04	0.000000241	0.000000073	0.000000059	0.000000051
0.05	0.000000248	0.000000087	0.000000066	0.000000057
0.06	0.000000258	0.000000098	0.000000070	0.000000065
0.07	0.000000262	0.000000111	0.000000077	0.000000072
0.08	0.000000270	0.000000125	0.000000083	0.000000077
0.09	0.000000275	0.000000137	0.000000088	0.000000082
0.1	0.000000283	0.000000150	0.000000094	0.000000085
0.2	0.000000356	0.000000277	0.000000146	0.000000141
0.3	0.000000435	0.000000408	0.000000195	0.000000177
0.4	0.000000524	0.000000500	0.000000231	0.000000213
0.5	0.000000657	0.000000566	0.000000258	0.000000252
0.6	0.000000772	0.000000610	0.000000279	0.000000252
0.7	0.000000969	0.000000665	0.000000303	0.000000265
0.8	0.000001010	0.000000705	0.000000306	0.000000273
0.9	0.000001116	0.000000756	0.000000318	0.000000291
1	0.000001221	0.000000781	0.000000330	0.000000317

Tableau. 3. SNR de l'image '24.gif' bruitée et filtrée pour différentes valeurs de la variance.

$\text{var} = \sigma^2$	Kuwahara	median	Wiener	SRAD
0.01	16.2258	21.4352	20.7426	23.7950
0.02	16.1042	20.0372	20.0302	21.6591
0.03	15.9368	18.9675	19.4397	20.6648
0.04	15.8362	18.1549	18.9594	19.6858
0.05	15.7292	17.3793	18.4694	19.2558
0.06	15.6125	16.7795	18.1075	18.7018
0.07	15.4615	16.2661	17.7771	18.2697
0.08	15.2057	15.7911	17.4646	17.9920
0.09	15.2651	15.4349	17.1960	17.7594
0.1	15.1168	15.0024	16.9155	17.5857
0.2	14.1409	12.3538	15.0181	15.5532
0.3	13.3326	10.8257	13.9406	14.6993
0.4	12.7559	9.8111	13.0408	14.0292
0.5	12.2162	8.9482	12.6191	13.6876
0.6	11.8445	8.4094	12.3896	13.6551
0.7	11.5773	7.8710	12.2387	13.6029
0.8	11.3056	7.4697	12.1710	13.5489
0.9	11.1150	7.0335	12.0132	13.3958
1	10.9152	6.7592	11.9716	13.1590

Tableau. 4. PSNR de l'image '24.gif' bruitée et filtrée pour différentes valeurs de la variance.

var = σ^2	Kuwahara	Median	Wiener	SRAD
0.01	24.1395	30.5648	29.8884	32.8453
0.02	24.0262	29.1631	29.1708	30.7032
0.03	23.8723	28.0913	28.5827	29.6888
0.04	23.7751	27.2725	28.1051	28.6975
0.05	23.6683	26.4983	27.6221	28.2501
0.06	23.5622	25.8845	27.2602	27.6801
0.07	23.4083	25.3659	26.9263	27.2334
0.08	23.3348	24.8731	26.6126	26.9432
0.09	23.2073	24.5228	26.3531	26.7030
0.1	23.0691	24.0824	26.0729	26.5070
0.2	22.0840	21.4523	24.1837	24.3370
0.3	21.2570	19.8444	23.0696	23.3420
0.4	20.6512	18.6531	22.1877	22.5366
0.5	12.2162	17.7164	21.6817	21.2192
0.6	19.6977	17.0036	21.3837	21.7976
0.7	19.4084	16.4110	21.1668	22.1035
0.8	19.1247	15.8458	20.9755	21.4451
0.9	18.8923	15.3602	20.7657	21.1688
1	18.6660	14.9516	20.6133	20.8074

Tableau. 5. SSIM de l'image '24.gif' bruitée et filtrée pour différentes valeurs de la variance.

var = σ^2	Kuwahara	Median	Wiener	SRAD
0.01	0.5667	0.7763	0.7633	0.8782
0.02	0.5285	0.7016	0.7469	0.8303
0.03	0.4982	0.6462	0.7343	0.8055
0.04	0.4710	0.6047	0.7235	0.7802
0.05	0.4505	0.5703	0.7127	0.7682
0.06	0.4324	0.5419	0.7038	0.7538
0.07	0.4171	0.5164	0.6936	0.7403
0.08	0.4028	0.4962	0.6825	0.7318
0.09	0.3911	0.4770	0.6755	0.7260
0.1	0.3785	0.4614	0.6660	0.7217
0.2	0.3069	0.3595	0.5998	0.6650
0.3	0.2637	0.3064	0.5546	0.6420
0.4	0.2400	0.2741	0.5198	0.6301
0.5	0.2229	0.2465	0.4941	0.6239
0.6	0.2145	0.2283	0.4762	0.6148
0.7	0.2047	0.2044	0.4478	0.6144
0.8	0.1968	0.1927	0.4456	0.6106
0.9	0.1907	0.1902	0.4296	0.6075
1	0.1872	0.1806	0.4174	0.6017

Les représentations graphiques des tableaux ci-dessus sont données comme suit :

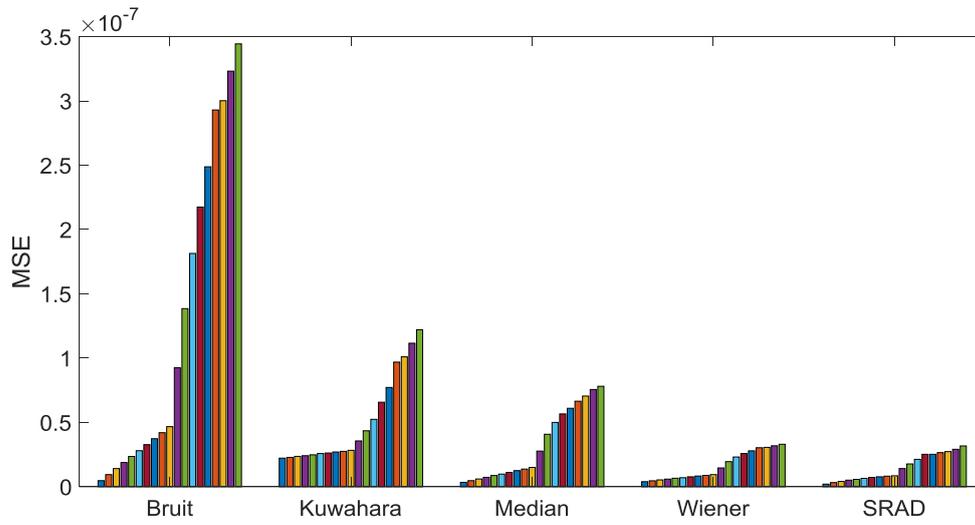


Figure. 6. Représentation graphique du MSE de l'image '24.gif' pour différentes valeurs de la variance

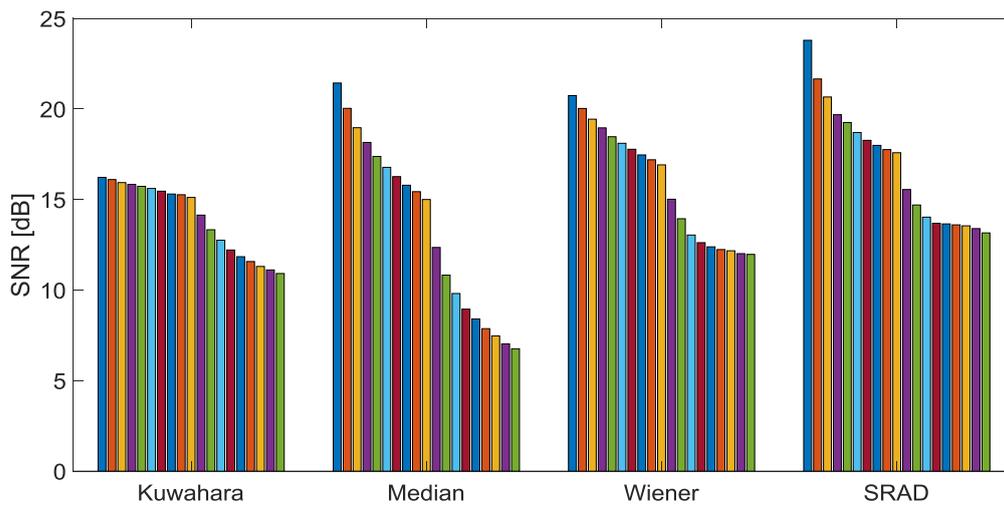


Figure. 7. Représentation graphique du SNR de l'image '24.gif' pour différentes valeurs de la variance.

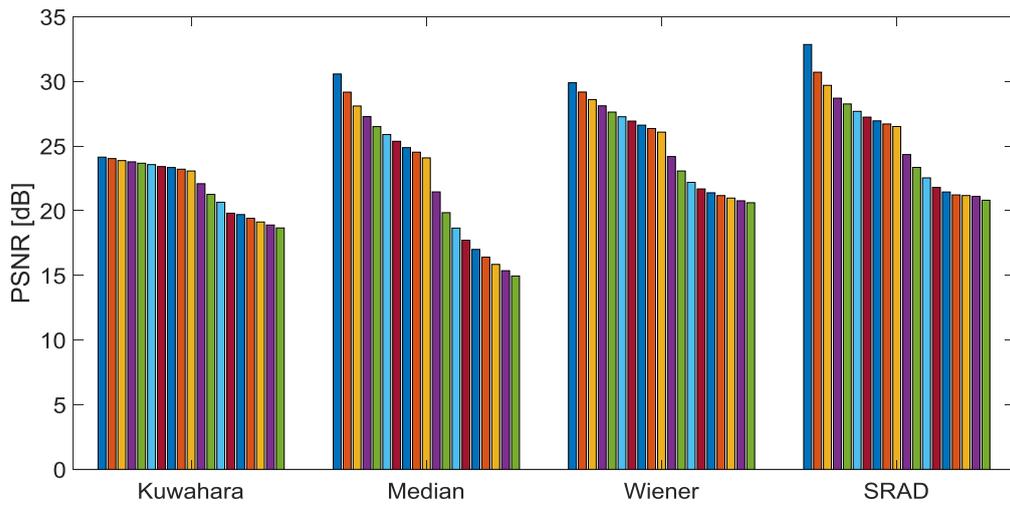


Figure. 8. Représentation graphique du PSNR de l'image '24.gif' pour différentes valeurs de la variance

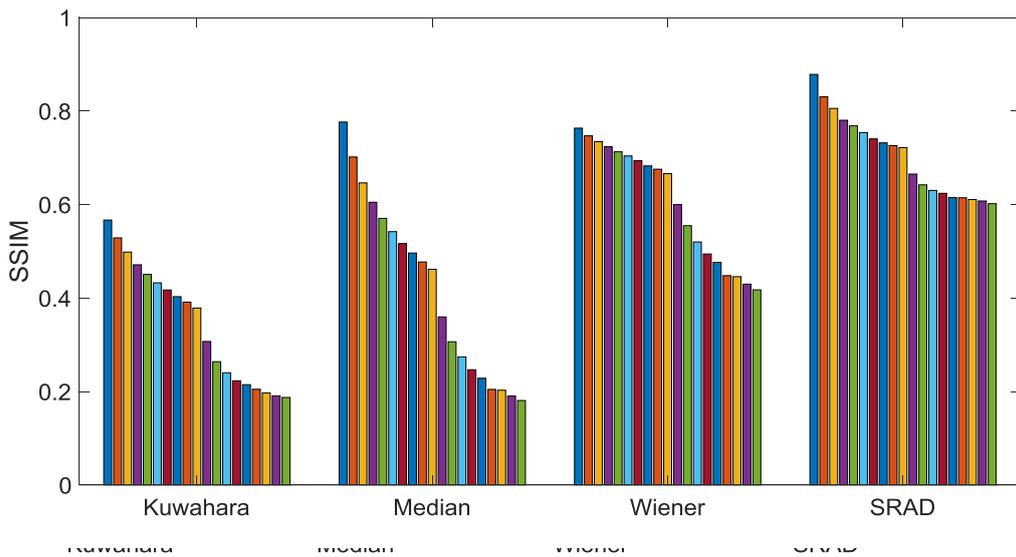


Figure. 9. Représentation graphique du SSIM de l'image '24.gif' pour différentes valeurs de la variance.

VI. Expérience2 : Test sur l'image '45.gif'

La figure suivante montre les résultats de simulation de filtrage de l'image par les différents filtres :

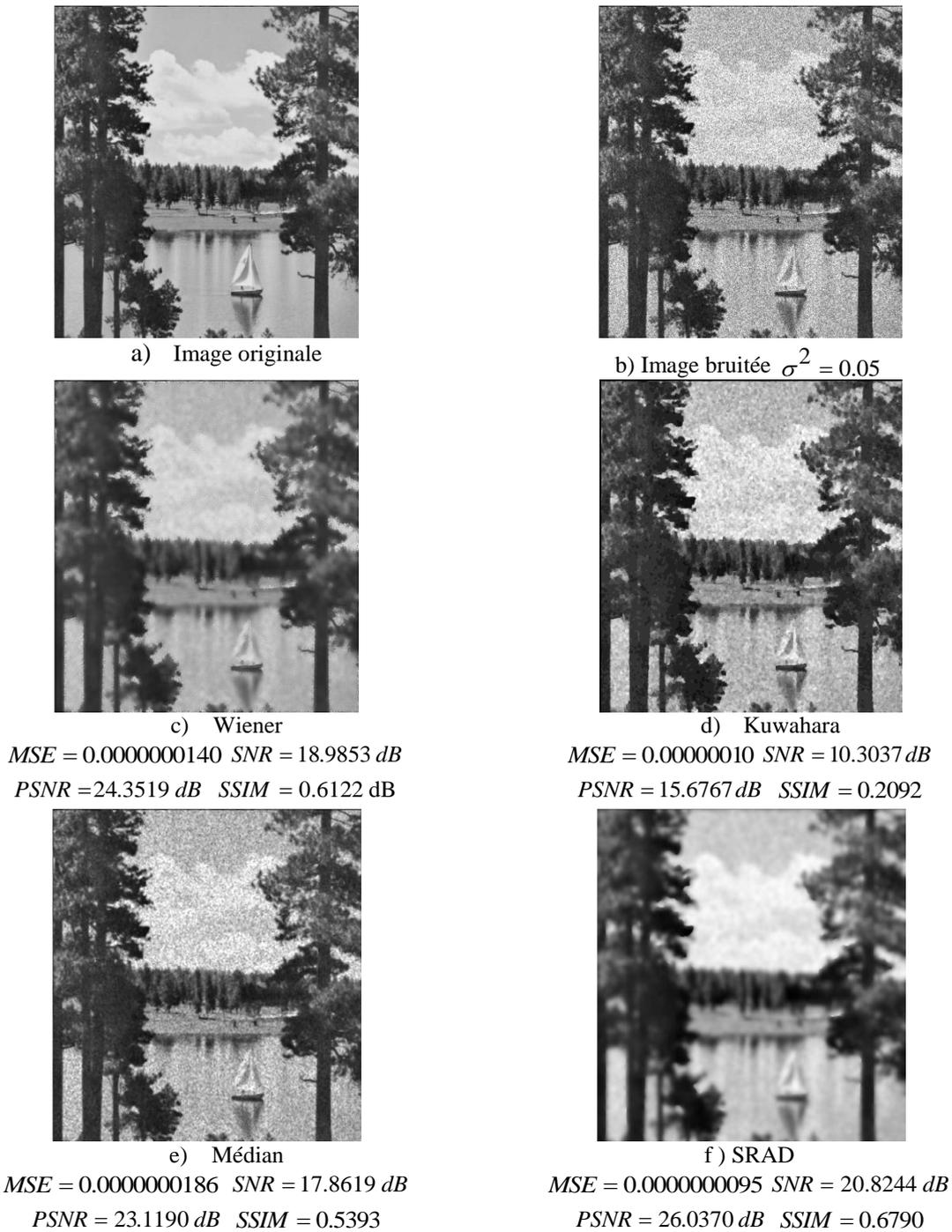


Figure. 1.Filtrage de image '45.gif'.

Les différentes métriques sont illustrées par la figure ci-dessous :

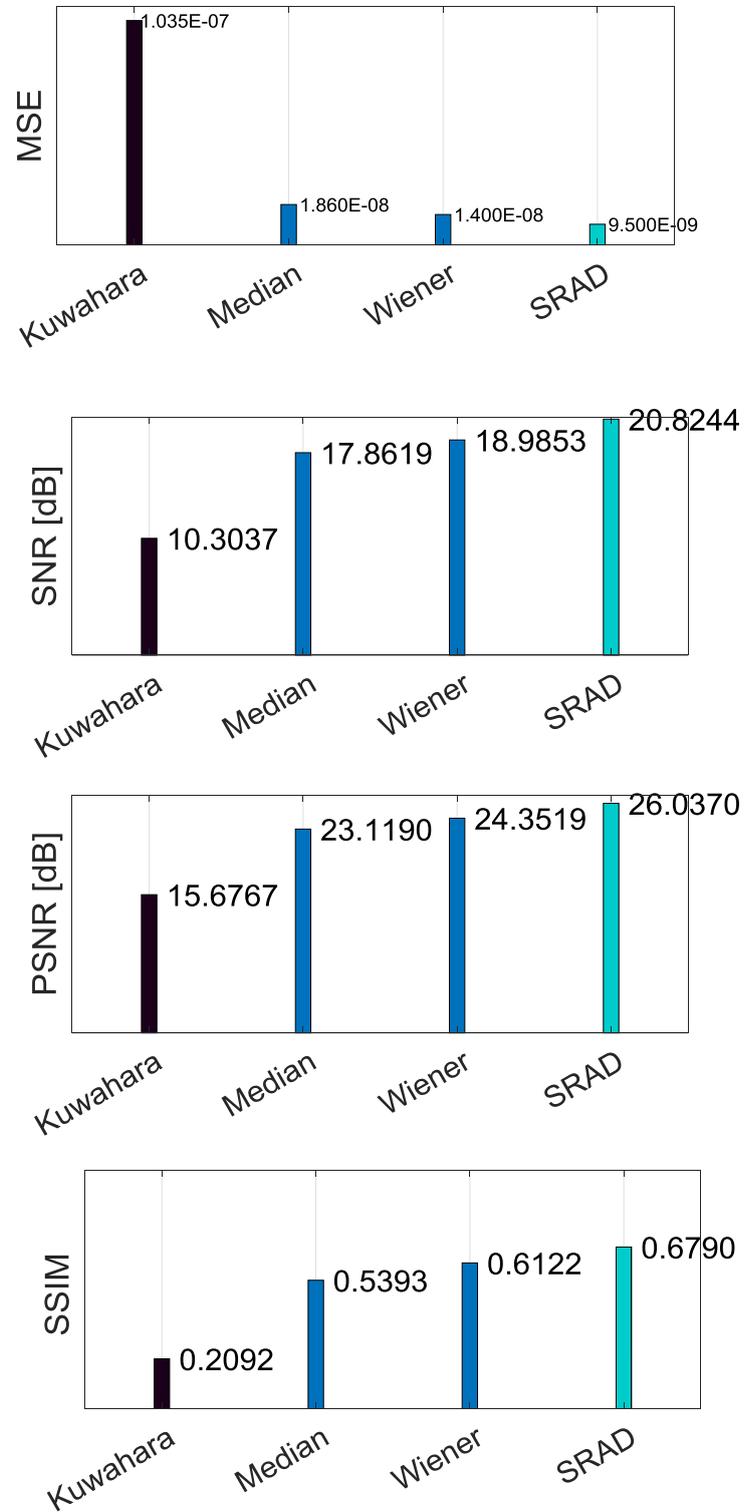


Figure. 21. Comparaison des différentes métriques de l'image '45.gif' pour $\sigma = 0.05$

VII. Expérience 3: Test sur l'image 'circuit.tif'

La figure suivante montre les résultats de simulation de filtrage de l'image par les différents filtres :

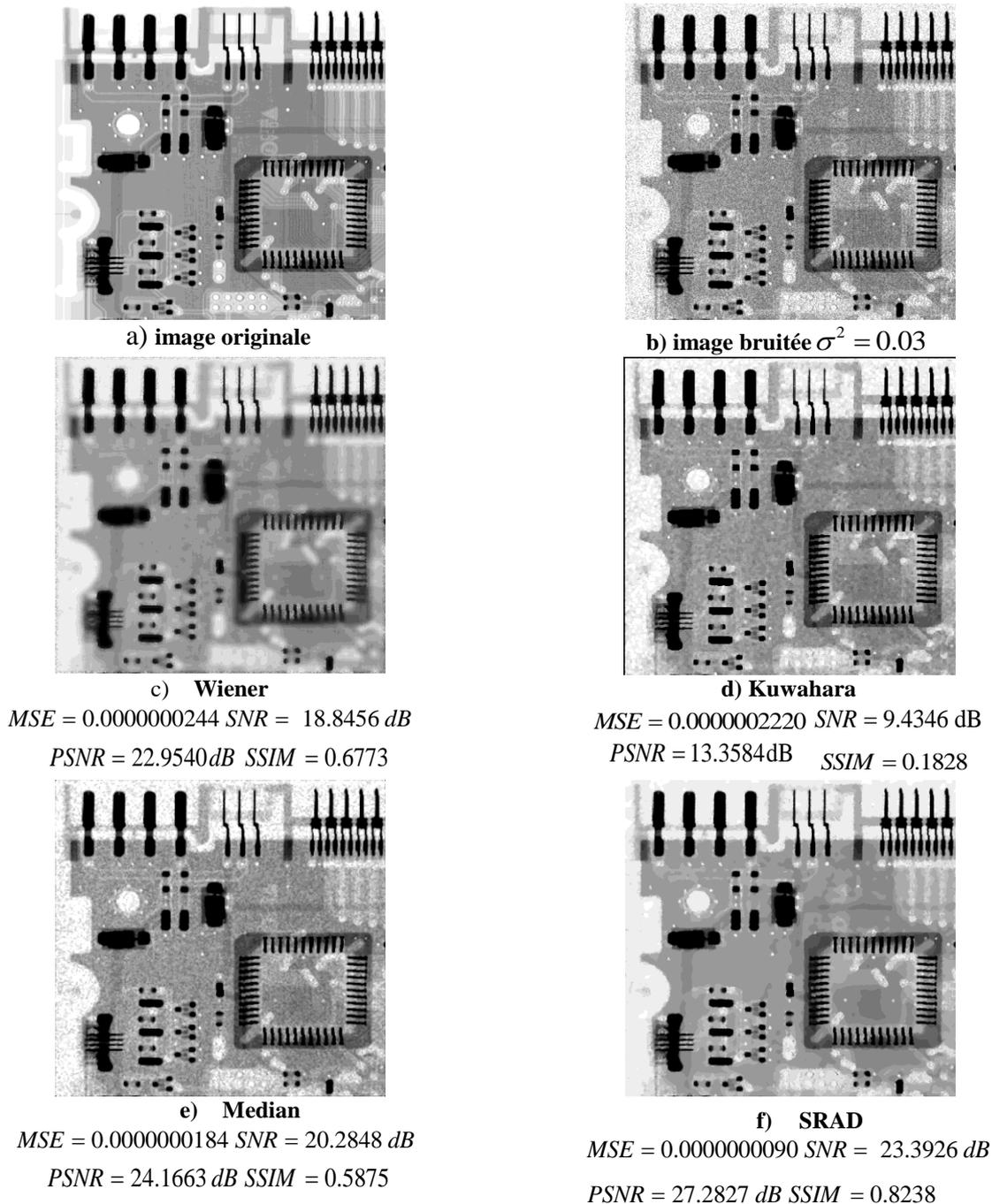


Figure. 12. Filtrage de image 'circuit.tif'

Les différentes métriques sont illustrées par la figure ci-dessous :

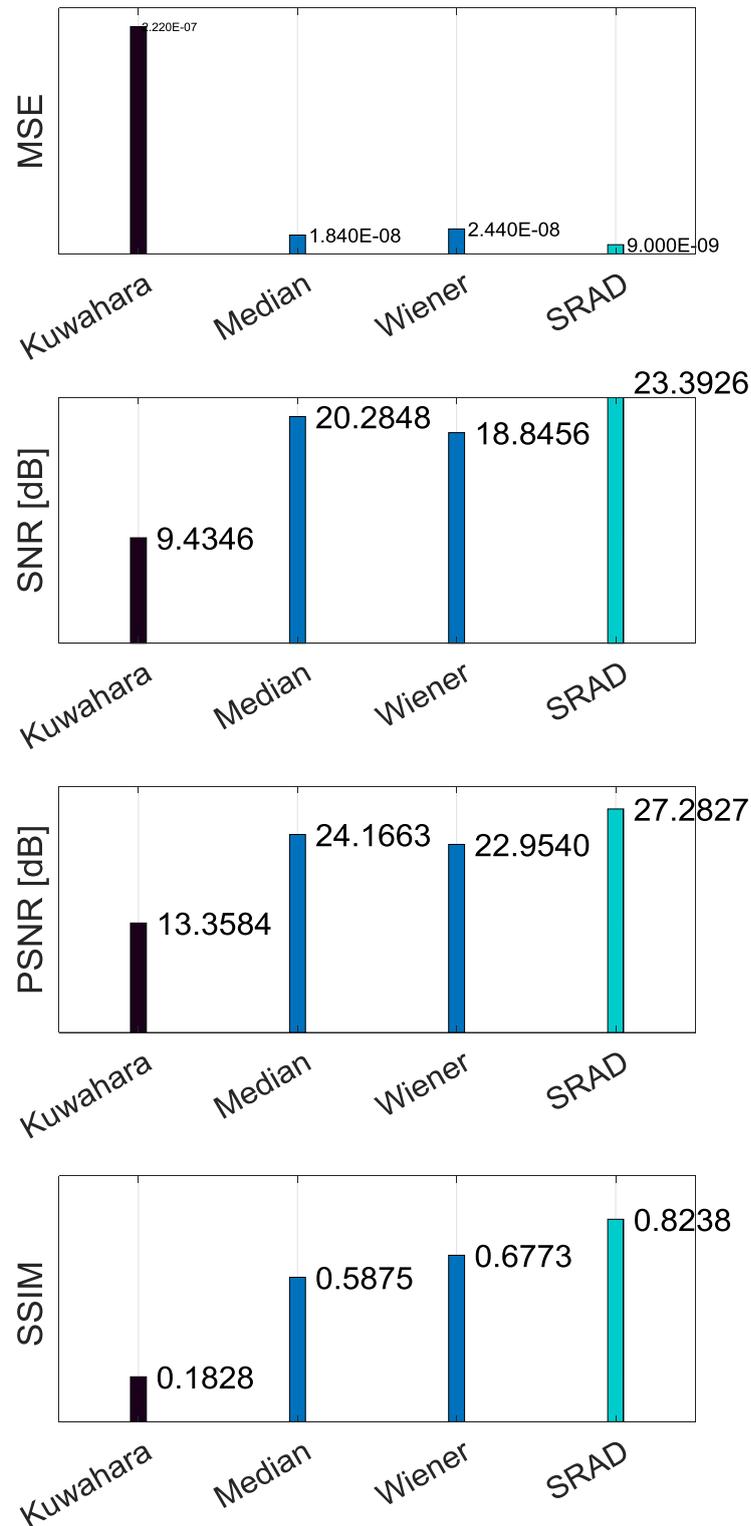


Figure. 13. Comparaison des différentes métriques de l'image 'circuit.tif' pour $\sigma^2 = 0.03$

VIII. Expérience 4 : Test sur l'image 'phantom.tif'

La figure suivante montre les résultats de simulation de filtrage de l'image par les différents filtres :



a) Image originale



b) Image bruitée $\sigma^2 = 0.05$



c) Wiener

$MSE = 0.0000000031$ $SNR = 16.7250$ dB
 $PSNR = 29.5182$ dB $SSIM = 0.9571$



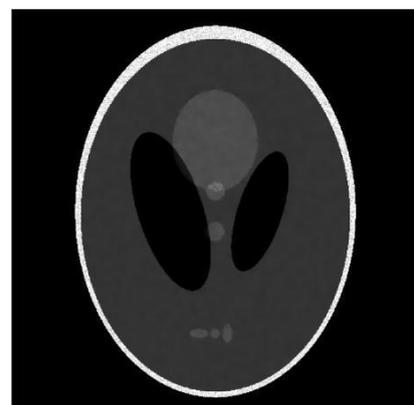
e) Kuwahara

$MSE = 0.0000000330$ $SNR = 6.6287$ dB
 $PSNR = 19.2456$ dB $SSIM = 0.6868$



f) Median

$MSE = 0.0000000024$ $SNR = 18.1545$ dB
 $PSNR = 30.7002$ dB $SSIM = 0.8711$



f) SRAD

$MSE = 0.0000000023$ $SNR = 18.1899$ dB
 $PSNR = 30.8818$ dB $SSIM = 0.9803$

Figure. 14. Filtrage de image 'phantom.tif'.

Les différentes métriques sont illustrées par la figure ci-dessous :

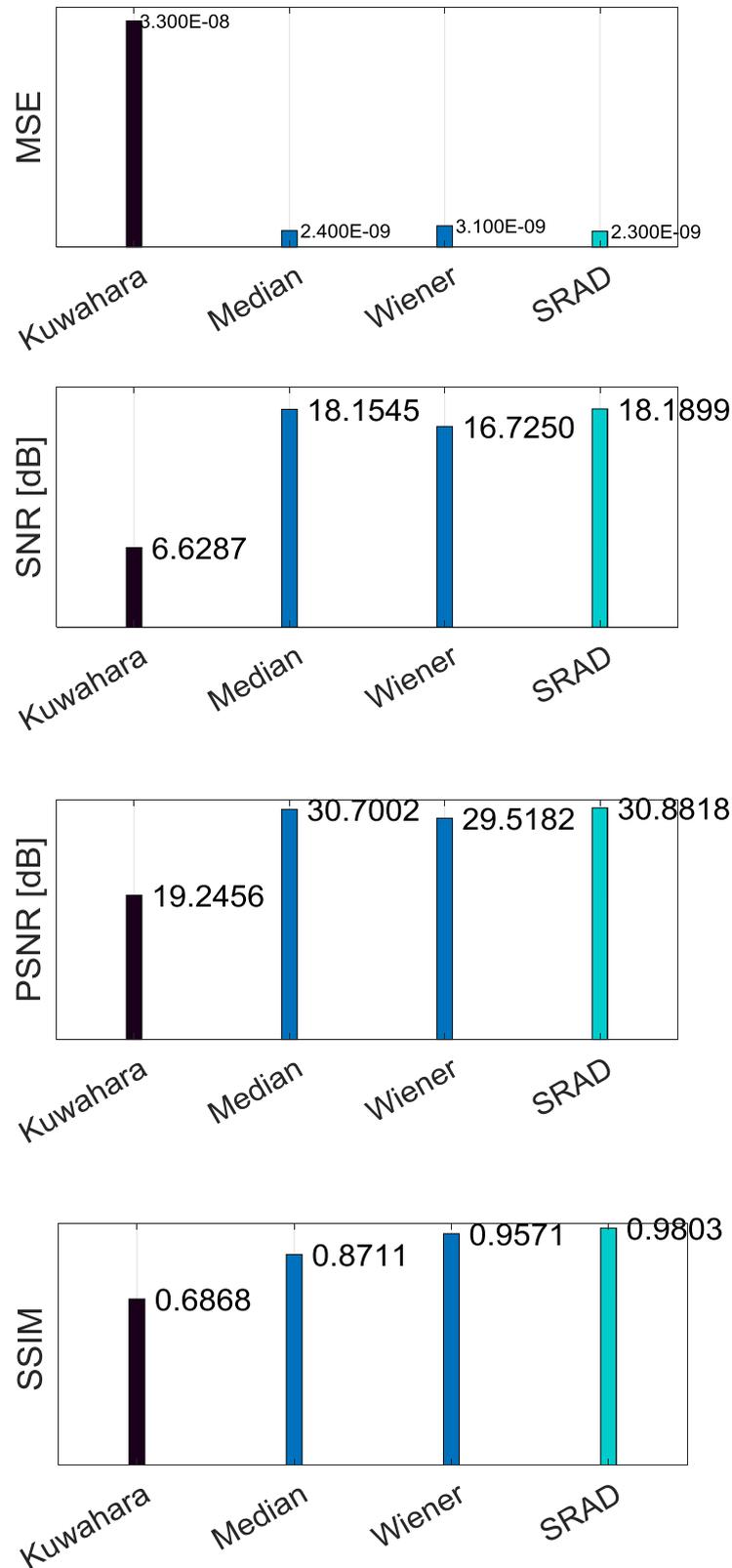
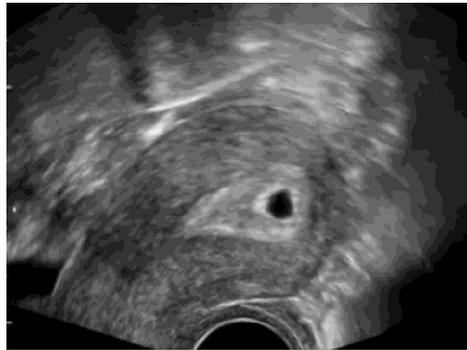


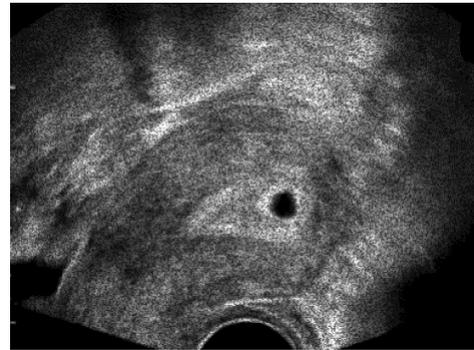
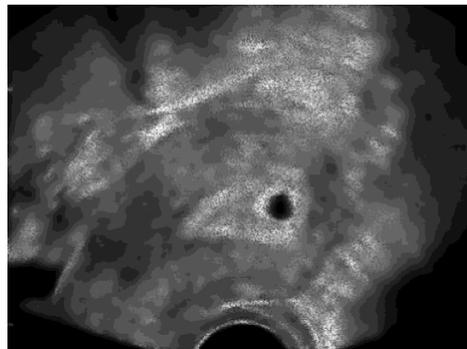
Figure. 15. Comparaison des différentes métriques de l'image 'phantom.tif' pour $\sigma^2 = 0.05$

IX. Expérience 5: Test sur l'image 'echographie.jpg'

La figure suivante montre les résultats de simulation de filtrage de l'image par les différents filtres :

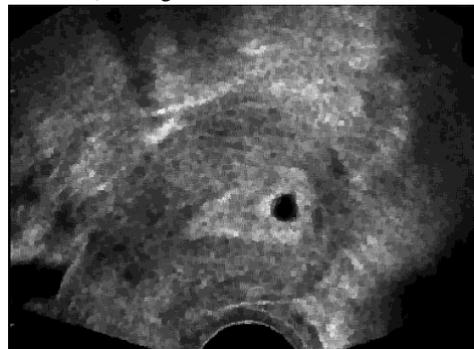


a) Image originale

b) Image bruitée $\sigma^2 = 0.09$ 

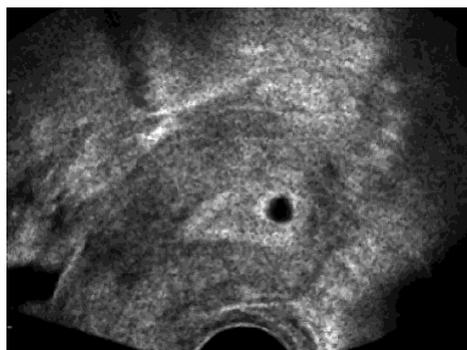
c) Wiener

$MSE = 0.0000000070$ $SNR = 16.8134$ dB
 $PSNR = 26.0108$ dB $SSIM = 0.6933$



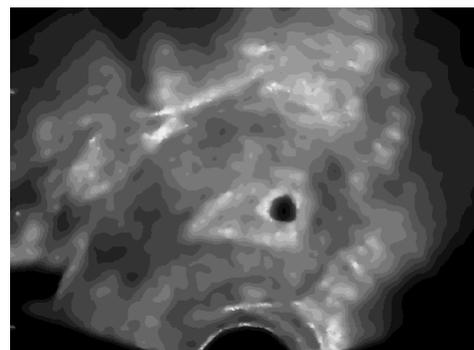
d) Kuwahara

$MSE = 0.0000001299$ $SNR = 8.7135$ dB
 $PSNR = 18.1017$ dB $SSIM = 0.2800$



e) Median

$MSE = 0.0000000083$ $SNR = 16.0739$ dB
 $PSNR = 25.2540$ dB $SSIM = 0.6014$



f) SARD

$MSE = 0.0000000031$ $SNR = 20.5247$ dB
 $PSNR = 29.6214$ dB $SSIM = 0.7973$

Figure. 16. Filtrage de image 'echographie.jpg'.

Les différentes métriques sont illustrées par la figure ci-dessous :

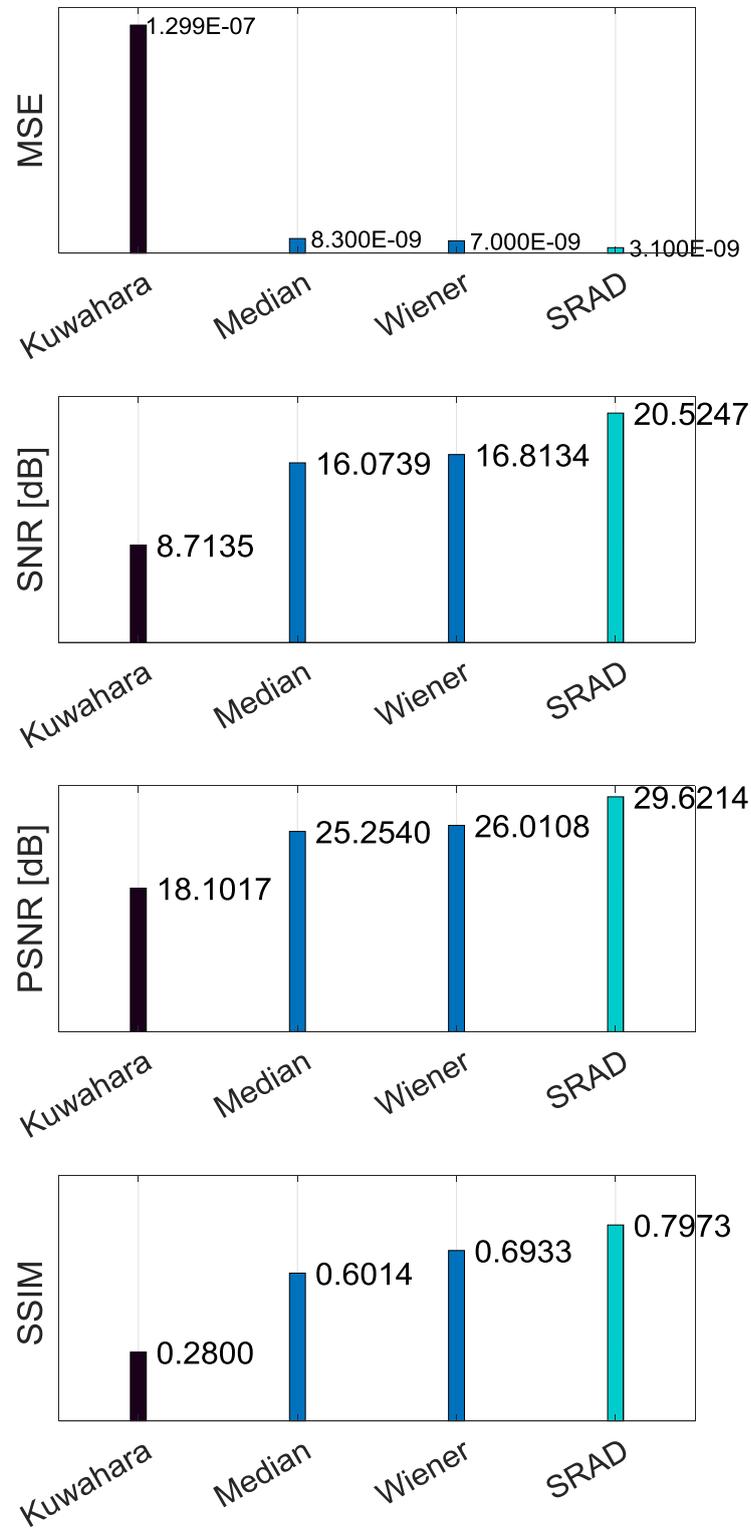
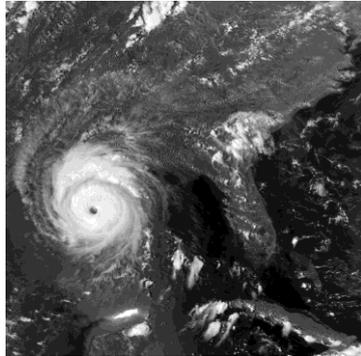


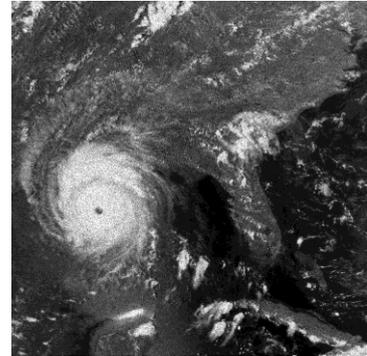
Figure.17. Comparaison des différentes métriques de l'image 'echographie.jpg' pour $\sigma^2 = 0.09$.

X. Expérience 6: Test sur l'image 'Hurricane Andrew'.tif

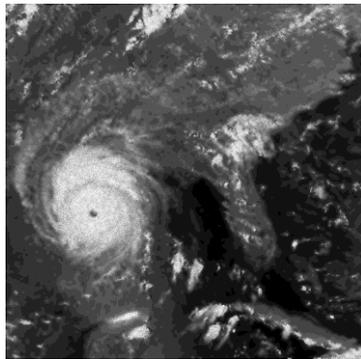
La figure suivante montre les résultats de simulation de filtrage de l'image par les différents filtres :



a) image originale



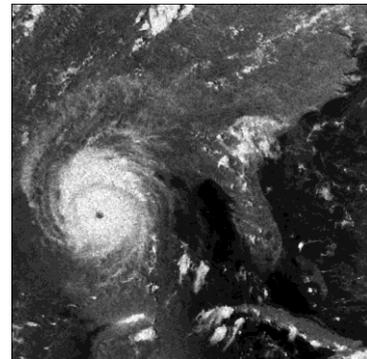
b) image bruitée $\sigma^2 = 0.08$



c) Wiener

$MSE = 0.0000000049$ $SNR = 15.3214$ dB

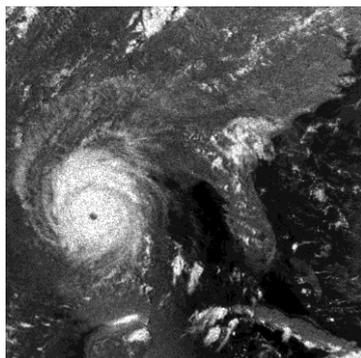
$PSNR = 23.9322$ dB $SSIM = 0.6024$



d) Kuwahara

$MSE = 0.0000000219$ $SNR = 8.5905$ dB

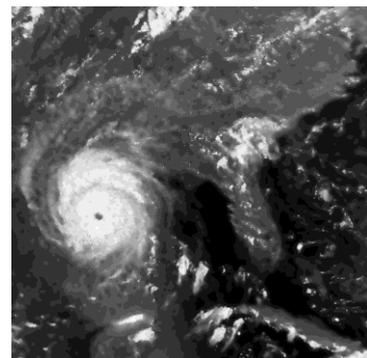
$PSNR = 17.3922$ dB $SSIM = 0.2516$



e) Median

$MSE = 0.0000000049$ $SNR = 15.3453$ dB

$PSNR = 23.9031$ dB $SSIM = 0.5912$



f) SRAD

$MSE = 0.0000000034$ $SNR = 16.9692$ dB

$PSNR = 25.4591$ dB $SSIM = 0.6422$

Figure. 18. Filtrage de image 'Hurricane Andrew.tif'.

Les différentes métriques sont illustrées par la figure ci-dessous :

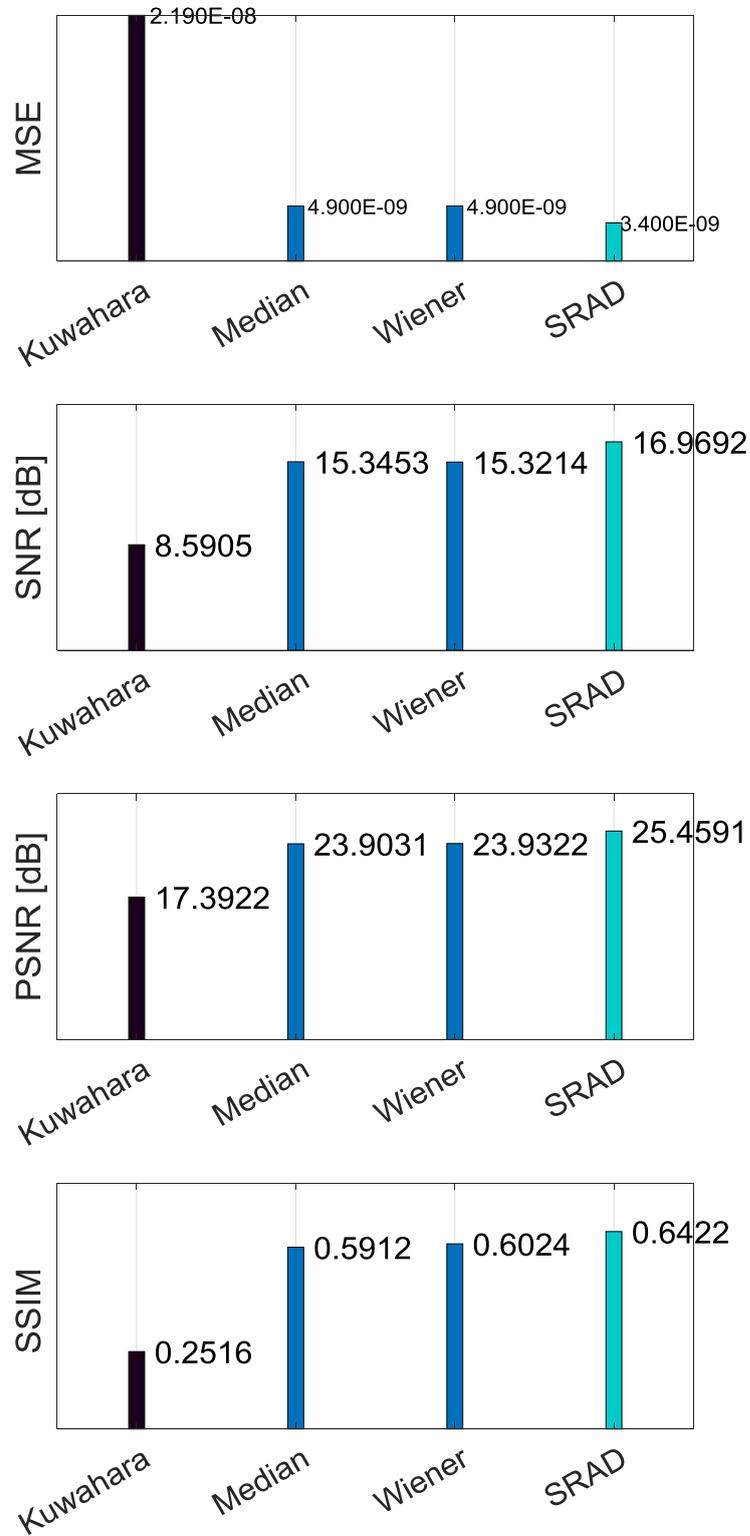


Figure .19. Comparaison des différentes métriques de l'image 'Hurricane Andrew.tif' pour $\sigma^2 = 0.08$

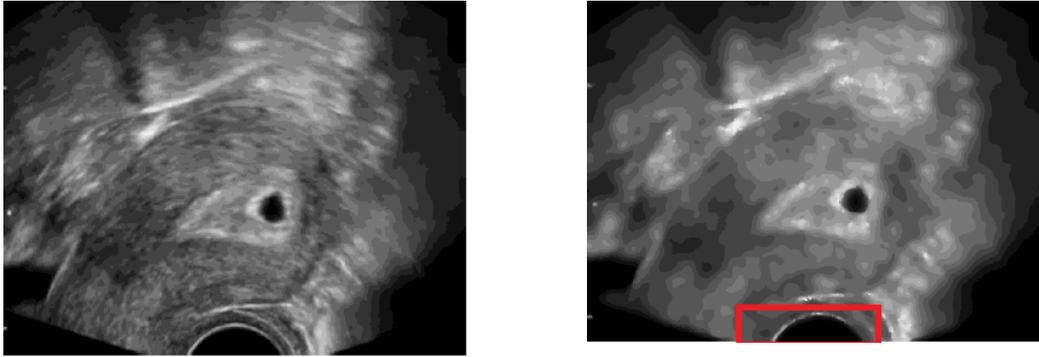
XI. Interprétation des résultats de simulations

L'image 'phantom.tif.' nous observons que l'utilisation du filtre SRAD donne le meilleur résultat, Nous voyons clairement la préservation des contours de l'image, la réduction efficace du bruit de speckle, ce filtre a réussi à rendre l'image plus nette. Le filtre de Wiener offre une amélioration positive de la qualité de l'image filtrée et ce en réduisant le bruit tout en préservant les contours. Néanmoins, il n'atteint pas le même niveau d'amélioration finale et d'efficacité que le filtre de SRAD. Les filtres Kuwahara et median n'éliminent pas convenablement le bruit, nous pouvons le voir clairement dans les zones homogène (le petit cercle). Les filtres Kuwahara et median ne donne pas un résultat visuel satisfaisant par rapport aux autres filtres.

L'image '45.gif' Wiener floute l'image avec disparitions du bruit, Kuwahara contient moins de bruit que le median, SRAD fait disparaître quelques détails à cause du mauvais choix de la zone homogène (arbre).



L'image 'echographie.jpg' Wiener contient le bruit et floute l'image, pour SRAD il y a une disparition presque totale du bruit avec un floutage énorme de l'image, les autres filtres contiennent le bruit. SRAD limite le lissage le long des contours.



L'image '24.gif' nous observons SRAD Préserve les détails fins de manière satisfaisante.



avec une bruit assez élevé l'image 'Hurricane Andrew.tif' et 'circuit.tif' est mieux filterie par SRAD.

Les métriques de l'image '24.gif' pour différentes valeurs de la variance sont montres par le tableau 2. SRAD presente les meilleures valeurs des métriques quelle que soit la variance (Colonne colorée en bleu)..Nous observons que lorsque la variance varie $\sigma^2 = 0.0.2$ à $\sigma^2 = 1$ le filtre Wiener donne également de bons résultats mais ce n'est pas au même niveau que SRA (Colonne colorée en vert).Nous remarquons que Le filtre median donne des métriques acceptables quand la variance varie de $\sigma^2 = 0.02$ à $\sigma^2 = 1$ (Colonne colorée en noir. Finalement, nous pouvons voir clairement que le filtre de Kuwahara ne

donne pas des résultats satisfaisants par rapport aux autres filtres (Colonne colorée en rouge).

Les Tableaux 3,4,5 montrent les mesures de qualité $SNR, PSNR, SSIM$, de l'image '24.gif' bruitée et filtrée pour différentes valeurs de la variance . Comme précédemment, les valeurs en vert indiquent également que le filtre présente les meilleurs résultats. Celles en bleu montrent les bons résultats. Les valeurs en noir correspondent à des résultats acceptables dans l'ensemble. Enfin, la couleur rouge est attribuée aux résultats très médiocres.

La Figure. 6. Illustre la présentation graphique du MSE de l'image '24.gif' pour différentes valeurs de la variance. Nous remarquons que plus la valeur de la variance n'augmente, plus le taux d'erreur quadratique moyenne MSE augmente.

Les Figures 7, 8 et 9 montrent la représentation graphique des mesures SNR , $PSNR$ et $SSIM$ de l'image '24.gif' pour différentes valeurs de la variance. IL semble que l'augmentation de la variance entraîne une diminution de SNR , $PSNR$ et $SSIM$.

Les figures 5 ,11 ,13 ,15 ,17 et 19 présentent la comparaison des différentes métriques MSE , SNR , $PSNR$, $SSIM$. Nous pouvons voir clairement que SRAD est le meilleur filtre de point de vue métrique :

$$MSE_{SRAD} < MSE_{Wiener} < MSE_{median} < MSE_{Kuwahara} .$$

$$SNR_{SRAD} > SNR_{Wiener} > SNR_{median} > SNR_{Kuwahara} .$$

$$PSNR_{SRAD} > PSNR_{Wiener} > PSNR_{median} > PSNR_{Kuwahara} .$$

$$SSIM_{SRAD} > SSIM_{Wiener} > SSIM_{median} > SSIM_{Kuwahara} .$$

XII. Conclusion

Dans cette partie, nous avons présenté les résultats de simulation qui montrent la comparaison entre les différents filtres utilisés.

A travers les résultats de la comparaison, nous avons conclu que le filtre SRAD donne les meilleurs résultats de point de vue visuel ou les valeurs des métriques.

Conclusion générale

Conclusion générale

Au cours de cette étude, nous avons examiné différentes techniques de filtrage du bruit de speckle, notamment les filtres linéaires et non linéaires. Les filtres linéaires, tel que le filtre de Wiener, qui est souvent utilisé pour réduire le bruit de speckle, mais il peut également lisser les détails et introduire une certaine perte d'informations. Les filtres non linéaires, tels que : le filtre médian et le filtre de SRAD , peuvent atténuer efficacement le bruit de speckle tout en préservant les contours et les structures des objets . Le filtre de Kuwahara a donné des résultats médiocres malgré qu'il appartient à la catégorie des filtres non linéaire. Le filtre par diffusion SRAD a donné de bons résultats.

Les mesures de qualité : *MSE* (erreur quadratique moyenne), le *SNR* (rapport signal sur bruit), le *PSNR* (rapport signal sur bruit de crête) et le *SSIM* (Structural Similarity Index Measure (mesure de l'indice de similarité structurelle) sont utilisées pour estimer la qualité entre l'image originale et l'image filtrée.

Des recherches futures peuvent se concentrer sur le développement de nouvelles approches de filtrage adaptatives, la combinaison de plusieurs techniques de filtrage et l'application de techniques de traitement du signal avancées pour améliorer encore les performances du filtrage du bruit de speckle. Et aussi l'application d'autres métriques pour faire la comparaison entre les différentes approches.

Nous espérons que ce manuscrit fournit une base solide pour une meilleure compréhension du bruit de speckle et des techniques de filtrage associées, et ouvre la voie à de nouvelles possibilités d'amélioration de la qualité des images cohérentes dans divers domaines d'application.

Bibliographie

- [1] N. Diffellah, "Débruitage et simplification d'images," Thèse de Doctorat en sciences en Génie électrique. Spécialité Electronique, Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie. 2021.
- [2] K. Chehdi, M. Sabri, M. Corazza, et al., "Amélioration d'un algorithme de filtrage du bruit multiplicatif," *Revue Traitement du Signal*, vol. 8, no. 11, pp. 63-74, 1991.
- [3] L. Beaurepaire, O. Jean-Marc, and C. Kacem, "Identification aveugle d'images dégradées par un bruit additif ou multiplicatif," 1997.
- [4] A. Lanani, "Construction d'une Ondelette Fractionnaire Adaptative Appliquée au Traitement de Signal et au Traitement d'Image," Université de Batna 2, Batna, 2020.
- [5] G. Obozinski, "Filtre de Wiener Analyse en Composantes Principales."
- [6] R. C. Gonzalez, "Digital image processing," Pearson education india, India, 2009.
- [7] K. Bartyzel, "Adaptive kuwahara filter," *Signal, Image and Video Processing*, vol. 10, pp. 663-670, 2016.
- [8] N. Shobha, R. S. S, R. Govind, and Kadambi, "A performance characterization of advanced data smoothing techniques used for smoothing images in optical flow computations," *Int. J. Adv. Comput. Math*, vol. 3, pp. 186-193, 2012.
- [9] J. Jaybhay and R. Shastri, "A study of speckle noise reduction filters," *Signal & Image Processing: An International Journal (SIPIJ)*, vol. 6, no. 13, pp. 71-80, 2015.
- [10] P. Perona and J. Malik, "Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 12, no. 17, pp. 629-639, 1990.
- [11] B. ter Haar Romeny, B. M. ter Haar Romeny, L. Florack, J. Koenderink, M. Viergever, and Eds, "Scale-Space Theory in Computer Vision: First International Conference, Scale-Space'97, Utrecht, The Netherlands, July 2-4, 1997, Proceedings," Springer Science & Business Media, vol. 1252, 1997.
- [12] Y. Yu and S. T. Acton, "Speckle reducing anisotropic diffusion," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 11, no. 11, pp. 1260-1270, 2002.
- [13] Z. A. Seghir, "Evaluation de la qualité d'image," Université de Mentouri–Constantine, Constantine, 2012.
- [14] N. Diffellah, T. Bekkouche, and R. Handini, "Comparison study of speckle noise reduction in Synthetic Aperture Radar (SAR) images," 3rd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences (ICEANS'2023), 15-17 January.
-

Bibliographie

[15] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli, "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 13, no. 14, pp. 600-612, 2004.
