

REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE 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'électronique

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : électronique.

Spécialité : électronique des systèmes embarqués

Par

- CHARIF Hadjer
- MOUSSAOUI Lilia

Intitulé

Evaluation objective de qualité d'un algorithme de restauration d'images

Soutenu le : 22/06/2022

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>Abdelhakim LATOUI</i>	<i>MCA</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Nacira DIFFELLAH</i>	<i>MCB</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Rabah HAMDINI</i>	<i>Dr</i>	<i>Co-encadreur</i>	<i>Enseignant vacataire Univ-BBA</i>
<i>Mohamed El Hossine DAACHI</i>	<i>MCA</i>	<i>Examinateur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2021/2022

Remerciements

On remercie Dieu le Tout Puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et terminer ce mémoire.

Nous tenons à remercier tout d'abord notre encadreur Nacira DIFELLAH pour sa patience, et surtout pour sa confiance, ses remarques, ses conseils, sa disponibilité et sa bienveillance.

Qu'elle trouve ici le témoignage de notre profonde gratitude.

Nos remerciement s'adresse à notre Co-encadreur Rabah HAMDINI pour ses précieux conseils et ses aides durant toute la période du travail.

Nos remerciements s'adressent à tous les membres du jury ; le président Abdelhakim LATOUI et l'examineur Mohamed El Hossine DAACHI pour la considération qu'ils nous ont accordée afin d'évaluer le résultat de notre travail. Nous tenons également remercier tous les enseignants ayant assurés nos cours pendant nos années d'études en particulier tous les enseignants du département d'Electronique de l'Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj.

C'est avec un grand plaisir que nous réservons ces lignes en signe de gratitude et de reconnaissance à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*-À la plus belle créature que Dieu a créé sur terre,
cette source de tendresse, de patience et de générosité,*

À ma mère !

*-À l'homme de ma vie, mon exemplaire éternel, mon soutien moral
et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour
me voir réussir*

À mon père !

Que dieu les bénisses et leurs assure une bonne santé et longue vie.

À mon cher frère El Hadje

*-À mes soeurs Mouna, Chaima et Douha qui sont mon bonheur dans
la vie*

*-À mon fiancé Amine et le mari de ma soeur Walide et aux
petits, Dina et Djoude*

*-À la plus cher et la plus proches personnes ,la source de tendresse
ma sœur que ma mère n'a pas le accouché Halla*

-À toute ma famille Moussaoui , grands et petits .

-À mes amis et spécialement à ma binôme Hadjer

*- À mes encadreurs Dr.Diffalleh et Dr.Hamdini merci beaucoup à
vous*

*-À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer, je
vous dis merci.*

Lilia Moussaoui

Dédicaces

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à ma famille bien-aimée, sans laquelle rien ne pourrait être réalisé.

-A mon père Salim et ma mère Dalila qui sont la source de mon succès et de mon bonheur.

-A mes frères Ismail et Ishak et mes adorables sœurs Besma et sa petite famille, Marwa, Imene qui sont les étoiles qui illuminent mon ciel si lumineux.

Merci pour tout l'amour inconditionnel, les conseils et le soutien que vous m'avez toujours apporté. Je vous aime !

-A mes grands-parents Qu'Allah lui donne puissance et santé

-A toutes la famille Charif et sur tout mon oncle « Abd El Madjid »

-A toutes la famille Dellidj

-A tous mes professeurs de l'école primaire, du collège et du lycée, ainsi qu'à l'université.

-A mes amis qui ont été à mes côtés pendant le voyage, en particulier " Batoul, Amira, Manel, Houda, Kamar, Hakim, Khaled, Mehdi ".

Je suis impatiente de vivre la prochaine aventure et je sais que vous serez avec moi !

-A ma binôme Lilia

-A notre encadreur Dr.Nacira Diffellah et Dr .Rabah Hamdini un merci spéciale pour vous

Hadjer Charif

الملخص

إن فكرة جودة الصورة هي قبل كل شيء فكرة ذاتية تعتمد على الإدراك البصري للبشر. تسعى جميع طرق معالجة الصور الرقمية إلى ضمان الجودة المرئية للصور المعالجة أو الحفاظ عليها بعد التجزئة أو الضغط أو التصفية. كجزء من هذا المشروع، نحن مهتمون بالمشكلات المتعلقة بالجودة الموضوعية للصور المستعادة. لتقييم جودة الصورة بشكل موضوعي، تتم دراسة وتنفيذ المقاييس الكمية للتنبؤ تلقائيًا بالجودة الإدراكية للصورة المعالجة، أي متوسط الخطأ المربع، وراديو الإشارة إلى الضوضاء، وجذر الجذر التربيعي يعني الخطأ التربيعي، ومؤشر التشابه الهيكلي، والإشارة البصرية إلى نسبة الضوضاء، إشارة الذروة إلى نسبة الضوضاء، مؤشر الجودة العالمي، دقة المعلومات المرئية

الكلمات المفتاح (*): الضوضاء، الاستعادة، جودة الصورة، القياس الموضوعي، القياس الذاتي،

Résumé

La notion de qualité de qualité d'image est avant tout une notion subjective qui dépend de la perception visuelle de l'être humain. Toutes les méthodes de traitement numérique des images cherchent à garantir ou maintenir la qualité visuelle des images traitées après segmentation, compression ou filtrage. Dans le cadre de ce projet, nous nous intéressons aux problèmes liés à la qualité objective des images restaurées. Pour évaluer objectivement la qualité d'image, des mesures quantitatives sont étudiées et implémentées pour prévoir automatiquement la qualité perceptive de l'image traitée, à savoir Mean Square Error (MSE), Signal-to-Noise Ratio (SNR), the square Root of the Mean Square Error (RMSE), Structural Similarity Index (SSIM), Visual Signal to Noise Rate (VSNR), Peak Signal to Noise Ratio (PSNR), Universal Quality Index (UQI), Visual Information Fidelity (VIF)

Mots clés (*): bruit, restauration, qualité d'image, mesure objective, mesure subjective, ...

Abstract

The notion of image quality quality is above all a subjective notion that depends on the visual perception of human beings. All digital image processing methods seek to guarantee or maintain the visual quality of the processed images after segmentation, compression or filtering. As part of this project, we are interested in problems related to the objective quality of the restored images. To objectively assess the image quality, quantitative measures are studied and implemented to automatically predict the perceptual quality of the processed image, namely Mean Square Error (MSE), Signal-to-Noise Ratio (SNR), the square Root root mean square error (RMSE), structural similarity index (SSIM), visual signal to noise ratio (VSNR), peak signal to noise ratio (PSNR), universal quality index (UQI), visual information fidelity (VIF)

Keywords (*): noise, restoration, image quality, objective measurement, subjective measurement, ...

Table des matières

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Table des matières i

Liste des figures i

Liste des tableaux i

Liste des abréviations i

Introduction générale1

Partie 1 : Partie théorique

I. Introduction2

II. Image numérique2

 1. Qualité d'image2

III. Bruitage de l'image2

 1. Définition du bruit2

 2. **Les sources de bruit de l'image**.....3

 2.1. Bruit liée au contexte de l'acquisition3

 2.2. Bruit liée au capteur3

 2.3. Bruit liée à la nature de la scène.....3

 2.4. Qualité de l'échantillonnage3

 3. **Différents types de bruit**4

IV. Restauration d'image par filtrage.....5

 1. Notion de filtrage5

 1.1. Filtres linéaires6

 1.2. Filtres non linéaire.....6

 1.3. Filtre moyennage.....7

 1.4. Filtres adaptifs7

Table des matières

1.5. Filtres de Wiener.....	7
1.6. Filtre gaussien.....	10
2. Filtrage variationnel.....	11
V. l'évaluation de la qualité d'image.....	12
1. Évaluation subjective	12
1.1. Système visuel humain (SVH)	12
2. Évaluation objective	13
VI. Métriques de l'évaluation de la qualité d'image	13
1. La moyenne de l'erreur quadratique (MSE)	13
2. Racine de l'erreur moyenne quadratique (RMSE).....	14
3. Rapport signal sur bruit (SNR)	14
4. Rapport crête signal sur bruit (PSNR)	15
5. Rapport signal sur bruit visuel (Visual Signal to Noise Rate VSNR).....	15
6. Indice de similarité structurelle (SSIM)	16
7. L'index de qualité universel(UQI)	18
8. Visual Information Fidelity (VIF)	18
VII. Conclusion	21

Partie 2 : Résultats Expérimentaux

I. Introduction	22
II. Développement d'une interface graphique sous la boîte à outil guide Matlab	22
III. Images de test	25
IV. Restauration d'images par différentes méthodes de filtrag.....	26
1. Test de l'image 'lena256.tif' $\sigma=10$	26
2. Test de l'image 'lena256.tif' $\sigma=15$	26
3. Test de l'image 'lena256.tif' $\sigma=20$	27
4. Test de l'image 'lena256.tif' $\sigma=25$	27
5. Test de l'image 'house.tif' $\sigma=10$	28
6. Test de l'image 'house.tif' $\sigma=15$	28
7. Test de l'image 'house.tif' $\sigma=20$	29
8. Test de l'image 'house.tif' $\sigma=25$	29
9. Test de l'image 'boats.tif' $\sigma=10$	30
10. Test de l'image 'boats.tif' $\sigma=15$	30
11. Test de l'image 'boats.tif' $\sigma=20$	31
12. Test de l'image 'boats.tif' $\sigma=25$	31

Table des matières

13. Test de l'image 'peppers256.tif' $\sigma=10$	32
14. Test de l'image 'peppers256.tif' $\sigma=15$	32
15. Test de l'image 'peppers256.tif' $\sigma=20$	33
16. Test de l'image 'peppers256.tif' $\sigma=25$	33
17. Test de l'image 'cameraman.tif' $\sigma=10$	34
18. Test de l'image 'cameraman.tif' $\sigma=15$	34
19. Test de l'image 'cameraman.tif' $\sigma=20$	35
20. Test de l'image 'cameraman.tif' $\sigma=25$	35
21. Test de l'image 'parrots.tif' $\sigma=10$	36
22. Test de l'image 'parrots.tif' $\sigma=15$	36
23. Test de l'image 'parrots.tif' $\sigma=20$	37
24. Test de l'image 'parrots.tif' $\sigma=25$	37
V. Métrique	38
a. MSE.....	38
b. RMSE.....	39
c. SNR.....	40
d. PSNR	41
e. VS NR.....	42
f. SSIM.....	43
g. UQI.....	44
h. VIF	45
VI. Interprétation	46
VII. Conclusion	46
Conclusion générale	47
Bibliographie	48

Liste des figures

Liste des figures

Partie 01

Figure.1:	Distribution Gaussienne $G(\mu, \sigma^2)$	5
Figure.2 :	<i>Bruitage Gaussien de l'image cameraman</i>	5

Partie 02

Figure.3 :	la structure générale de l'interface graphique.....	22
Figure.4 :	Images test.....	24
Figure.5 :	Restauration de l'image bruitée ' lena256.tif ' $\sigma=10$	25
Figure.6:	Restauration de l'image bruitée ' lena256.tif ' $\sigma=15$	25
Figure.7:	Restauration de l'image bruitée ' lena256.tif ' $\sigma=20$	26
Figure.8:	Restauration de l'image bruitée ' lena256.tif ' $\sigma=25$	26
Figure.9:	Restauration de l'image bruitée ' house.tif ' $\sigma=10$	27
Figure.10:	Restauration de l'image bruitée ' house.tif ' $\sigma=15$	27
Figure 11 :	Restauration de l'image bruitée ' house.tif ' $\sigma=20$	28
Figure 12 :	Restauration de l'image bruitée ' house.tif ' $\sigma=25$	28
Figure 13 :	Restauration de l'image bruitée ' boats.tif ' $\sigma=10$	29
Figure 14:	Restauration de l'image bruitée ' boats.tif ' $\sigma=15$	29
Figure 15 :	Restauration de l'image bruitée ' boats.tif ' $\sigma=20$	30
Figure 16 :	Restauration de l'image bruitée ' boats.tif ' $\sigma=25$	30
Figure 17 :	Restauration de l'image bruitée ' peppers256.tif ' $\sigma=10$	31
Figure 18:	Restauration de l'image bruitée ' peppers256.tif ' $\sigma=15$	31
Figure 19 :	Restauration de l'image bruitée ' peppers256.tif ' $\sigma=20$	32
Figure 20 :	Restauration de l'image bruitée ' peppers256.tif ' $\sigma=25$	32
Figure 21 :	Restauration de l'image bruitée ' cameraman.tif ' $\sigma=10$	33
Figure 22 :	Restauration de l'image bruitée ' cameraman.tif ' $\sigma=15$	33
Figure 23 :	Restauration de l'image bruitée ' cameraman.tif ' $\sigma=20$	34
Figure 24 :	Restauration de l'image bruitée ' cameraman.tif ' $\sigma=25$	34
Figure 25 :	Restauration de l'image bruitée ' parrots.tif ' $\sigma=10$	35
Figure 26 :	Restauration de l'image bruitée ' parrots.tif ' $\sigma=15$	35
Figure 27 :	Restauration de l'image bruitée ' parrots.tif ' $\sigma=20$	36
Figure 28 :	Restauration de l'image bruitée ' parrots.tif ' $\sigma=25$	36

Liste des tableaux

Tab1	tableau des résultats MSE.....	37
Tab2	tableau des résultats RMSE.....	38
Tab3	tableau des résultats SNR.....	39
Tab4	tableau des résultats PSNR.....	40
Tab5	tableau des résultats VSNR.....	41
Tab6	tableau des résultats SSIM.....	42
Tab7	tableau des résultats UQI.....	43
Tab8	tableau des résultats Vif.....	44

Liste des abréviations

Liste des abréviations

SVH : Système Visuel Humain

MAR : Métriques Avec Référence

MRR : Métriques Avec Référence Réduite

MSR : Métriques Sans Référence

MSE : Erreur Quadratique Moyenne (Mean Squared Error)

SNR : Rapport Signal sur Bruit (Signal to Noise Ration)

PSNR : Rapport Crête Signal sur Bruit (Peak Signal to Noise Ration)

SSIM : Indice de Similarité Structurelle (Structural Similarity)

RMSE: la Racine de l'Erreur Moyenne Quadratique (Root Mean Square Error)

VSNR : Rapport Signal sur Bruit visuel (Visual Signal to Noise Rate)

UQI : L'index de Qualité Universel (Universal Quality Index)

VIF: Visual Information Fidelity

ROF: Rudin-Osher-Fatemi

VT : Variation Totale



Introduction

Générale



Introduction générale

Les images ne jouent pas seulement un rôle d'accompagnement dans notre vie elles attirent l'attention de l'œil et facilitent la compréhension. L'image représente également le contenu le plus répandu et le plus utilisé, on la trouve dans les téléphones, la télévision et sur les réseaux sociaux. En effet, l'être humain a tendance à enregistrer, répertorier ou à partager les moments qu'il aime ou qu'il le touche. Il est donc important de choisir des images avec une meilleure qualité [Dakkar 2017].

L'image peut être dégradée à cause du parasite comme le flou, le bruit...etc. il doit donc exister un système d'évaluation capable de mesurer l'effet de la dégradation sur l'image. Dans le cadre de ce mémoire, nous nous sommes intéressés aux métriques de qualité. Notre objectif est le calcul des mesures de qualité des images dégradées et restaurées par filtrage. Nous proposons : Mean Square Error (MSE), Racine de l'erreur moyenne quadratique (RMSE), Rapport signal sur bruit (SNR), Rapport crête signal sur bruit (PSNR), Rapport signal sur bruit visuel (VSNR), Indice de similarité structurelle (SSIM), Index de qualité universel (UQI), Visual Information Fidelity (VIF)...comme des métriques de qualité.

Ce manuscrit est organisé comme suit:

La première partie présente les notions de base de la théorie nécessaire à la compréhension de notre travail : les types et les sources de bruit, les filtres de restauration, les métriques de qualité d'image. La deuxième partie est consacrée aux résultats de simulation. Pour mieux présenter ces résultats, nous développons une interface graphique qui regroupe deux méthodes de restauration : le filtrage par la méthode de Gauss et le filtrage variationnel basé sur le modèle de ROF Rudin Osher Fatemi, ainsi que les valeurs des différentes métriques mesurées entre l'image originale - l'image bruitée et l'image originale - l'image restaurée. Nous terminons par une conclusion générale.



Partie 1 :
Partie théorique



Partie théorique

I. Introduction

Dans cette partie, nous présentons la théorie nécessaire à la compression du travail présenté dans ce manuscrit telle que : le bruitage de l'image, la restauration par filtrage et les différents mesures de qualité.

II. Image numérique

L'image numérique est l'image dont la surface est divisée en éléments de taille fixe appelés cellules ou pixels, ayant chacun comme caractéristique un niveau de gris ou de couleurs [Sandeli 2014].

1. Qualité d'images

La qualité d'image est un terme général employé par l'observateur pour évaluer la qualité inhérente de l'image. Elle est principalement subjective, signifiant que chaque observateur évalue la qualité d'image différemment. Certains peuvent penser qu'une image est d'assez haute qualité, mais on peut avoir un individu avec des niveaux plus élevés qui peut indiquer que l'image manque de qualité [Zianou 2012].

III. Bruitage de l'image

1. Définition du bruit

On peut définir le bruit comme étant une dégradation dans l'image, provoquée par une perturbation externe. Si une image est envoyée par voie électronique d'un endroit à un autre, via le satellite ou la transmission sans fil, ou par le câble réseau, on peut s'attendre à des erreurs se produisant dans le signal de l'image. Ces erreurs apparaissent sur l'image de sortie de différentes manières en fonction du type de la perturbation

dans le signal [Zianou 2012]. Le bruit d'une image indique les pixels de l'image dont l'intensité est très distincte de celles des pixels voisins.

2. Les sources de bruit de l'image

Il est utile dans un premier temps, de voir quelles peuvent être les sources de dégradation ? Le bruit peut provenir de différentes causes [Barakat 1997] :

- a. Environnement lors de l'acquisition : dans cette première catégorie, on retrouve tous les événements inattendus, modifiant les conditions de l'acquisition du signal : le bougé, une modification ponctuelle des conditions d'éclairage ...
- b. Capacité des capteurs et la mauvaise utilisation : Si le capteur est de mauvaise qualité ou il est mal utilisé, il introduira automatiquement toute sorte de bruits : une distorsion de la gamme des niveaux de gris, provoquant une saturation ou bien une distorsion géométrique de l'image équivalente à l'effet d'un miroir grossissant par exemple. Une mauvaise mise au point peut provoquer un flou. Bien entendu, la meilleure restauration possible consiste à agir directement au niveau du capteur.
- c. Bruit liée à la nature de la scène : L'environnement dans lequel se situe l'acquisition n'est pas toujours maîtrisable. Exemple la poussière dans un atelier de production peut être difficile à éliminer. Cependant, la connaissance a priori du phénomène perturbateur permet d'envisager une correction systématique de l'image.
- d. Qualité de l'échantillonnage : L'étape d'échantillonnage est une source de bruit, notamment de phénomène de Moiré lorsque les conditions de Shannon et Nyquist ne sont pas respectées, lorsque des objets de la scène sont projetés dans une image de la taille d'un pixel [Maîtrev 2003].

3. Différents types de bruit

On va présenter différents types de bruit [Zianou 2012]:

-Bruit poivre et sel : On l'appelle aussi le bruit impulsionnel, le bruit de grenaille, ou le bruit binaire. Cette dégradation peut être causée par de fortes perturbations soudaines dans le signal d'image.

-Bruit de speckle : Le bruit de speckle est un problème important dans quelques applications de radar et d'échographie.

-bruit gaussien : Le bruit gaussien est un bruit dont les valeurs à un ou plusieurs instants sont des variables aléatoires gaussiennes [Lacoume1995].

Ce bruit apparaît dans l'image comme une variation aléatoire autour des valeurs d'intensité. Il est modélisé par l'équation suivante :

$$G(\mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

μ est la valeur moyenne, σ est l'écart type (variance), $G(\mu, \sigma)$ est dite distribution gaussienne.

La Figure.1 représente les courbes de la distribution Gaussienne avec différentes valeurs de μ et σ .

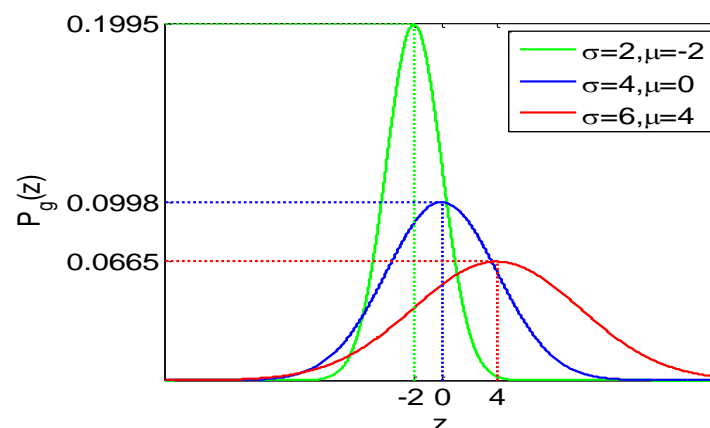


Figure.1 : Distribution Gaussienne

Le graphique de la distribution gaussienne dépend de deux facteurs la moyenne et l'écart type. La moyenne de la distribution détermine l'emplacement du centre du graphique et l'écart type détermine la hauteur et la largeur du graphique. La hauteur est déterminée par le facteur d'échelle et la largeur est déterminée par le facteur de la puissance de l'exponentielle. Lorsque l'écart type est grand, la courbe est courte et large lorsque l'écart type est petit, la courbe est haute et étroite. Toutes les distributions gaussiennes ressemblent à des courbes symétriques en forme de cloche. Si vous considérez l'image ici, la courbe de droite est celle avec un écart type plus petit que celui de gauche [1].

Ci-joint un petit exemple de bruitage de l'image 'cameraman.tif' :



(a) Image originale 'cameraman.tif'



(b) Image bruitée

Figure.2: Bruitage Gaussien de l'image cameraman

IV. Restauration d'image par filtrage

1. Notion de filtrage

Les techniques de la restauration ont pour but de réduire les effets des dégradations (bruit) subies par une image. Le principe du filtrage est de modifier la valeur des pixels d'une image dans le but d'améliorer son

[1] CHELBAB Amina et LAICHAOUI Linda *Débruitage d'images par les méthodes variationnelles*. Mémoire de master ESE, université de Bordj Bou Arreridj 2021

aspect. Il s'agit de créer une nouvelle image en se servant des valeurs des pixels de l'image d'origine. Le résultat obtenu dépend beaucoup de la qualité du signal de l'image d'origine. Si le signal est très dégradé, le filtrage seul sera très peu efficace. Un filtrage est l'application d'une transformation (appelée *filtre*) à tout partie d'une image numérique. Le principe du filtrage est de modifier la valeur des pixels d'une image dans le but d'améliorer son aspect. Il s'agit de créer une nouvelle image en se servant des valeurs des pixels de l'image d'origine [Bendaoud 2007].

Il existe plusieurs filtres utilisés en traitement d'image :

- Filtrage linaires
- Filtrage non linaires

1.1. Filtres linéaires

Le filtre moyen est le filtre linéaire optimal pour le bruit de Gauss. Il s'agit du filtrage le plus simple qui soit, consistant à remplacer la valeur d'un pixel par la valeur moyenne des pixels dans une fenêtre centrée sur le pixel en question. Cela réduit sensiblement le bruit, dont l'écart-type est réduit de la racine carrée du nombre total de pixels dans la fenêtre. Cependant ce moyennage qui ne tient pas compte des statistiques locales de l'image produit une forte dégradation des contours. Afin de minimiser ce phénomène, on utilise généralement des petites fenêtres, typiquement 3x3 ou 5x5 [Fourati 2009].

1.2. Filtres non linéaire

Ils sont conçus pour régler les problèmes des filtres linéaires, Leur principe est le même que celui des filtres linéaires, il s'agit toujours de remplacer la valeur de chaque pixel par la valeur d'une fonction calculée dans son voisinage. La différence majeure, est que cette fonction n'est plus linéaire mais une fonction quelconque (elle peut inclure des opérateurs de comparaisons ou de classification) [Chikh 2011].

1.3. Filtre moyenneur

On l'appelle aussi moyenne liquidation, moyenne ou fonds de liquidation. Son principe est très simple : le pixel est remplacé par la moyenne de lui-même et de ses voisins. Dans la définition du voisinage, les filtres seront différents. Le filtre moyen est un filtre passe-bas et annule ainsi les hautes fréquences de bruit correspondantes. Son inconvénient est qu'il annule également les hautes fréquences correspondant aux détails de l'image : rendant l'image moins bruitée mais plus floue [Diane 2004].

1.4. Filtres adaptatifs

Les filtres adaptatifs utilisent des statistiques locales de l'image afin de modifier leur comportement. Trois grandes familles de méthodes seront présentées: la première famille, historiquement la plus ancienne, repose sur une minimisation de l'erreur quadratique moyenne. La seconde famille est une variante du filtre moyenne adaptative. La dernière famille, plus récente, utilise une évaluation locale des statistiques de l'image [Hacini 2014].

1.5. Filtre de Wiener

Le filtre de Wiener lui, ne caractérise pas le signal et le bruit par leur forme analytique mais par leurs propriétés statistiques. On considère que les images sont des réalisations d'un processus aléatoire stationnaire : on cherche alors à minimiser la moyenne du carré de la différence entre l'image initiale et l'image restaurée [Maïtine 2011].

Ce filtre est très efficace pour traiter des images dégradées à la fois par du flou et du bruit.

On considère donc une image dégradée $f = h * u + b$ ou u est l'image originale à restaurer, h un noyau de convolution symétrique positif

(réponse impulsionnelle du filtre (flou) et b est une bruit de loi de probabilité (identique pour chaque pixel) μ .

L'hypothèse généralement faite est celle d'un bruit plan gaussien d'écart-type σ .

On modélise donc le problème par une formulation au sens des moindres carrés en considérant l'erreur quadratique $\|f - h * u\|_L^2$ que l'on va minimiser. Le problème de minimisation n'admettant pas nécessairement de solution convenable, on ajoute un terme de régularisation quadratique de la forme $\|q * u\|_L^2$. Le noyau q sera fixé ultérieurement en fonction du rapport signal sur bruit.

En appliquant la transformation de Fourier le problème de minimisation s'écrit alors :

$$\min_{U \in L^2(\mathbb{R})} \|F - HU\|_2^2 + \|UQ\|_2^2 \quad (2)$$

Où $U = \hat{u}, F = \hat{f}, Q = \hat{q}, H = \hat{h}$. La solution U de ce problème est obtenue par dérivation :

$$\forall V \in L^2(\mathbb{R}) (HU - F, HV)_{L^2} + (QU, QV)_{L^2} = 0 \quad (3)$$

On obtient :

$$\bar{H}(HU - F) + |Q|^2 U = 0 \quad (4)$$

C'est-à-dire :

$$U = \frac{\bar{H}}{|H|^2 + |Q|^2} F \quad (5)$$

Le principe du filtrage de Wiener est de fixer $|Q|^2$ en fonction d'une estimation du rapport signal sur bruit. Lorsque $Q=0$ on retrouve le filtrage inverse (pas de bruit). Idéalement, il faudrait choisir

$$Q(w) = \frac{|\hat{b}(w)|}{|\hat{u}(w)|} \quad (6)$$

Mais le choix le plus courant est de prendre l'inverse du rapport signal sur bruit :

$$Q^2 = \frac{\langle |\hat{b}|^2 \rangle}{\langle |\hat{u}|^2 \rangle} \quad (7)$$

Où $\langle |\hat{b}|^2 \rangle$ (resp. $\langle |\hat{u}|^2 \rangle$) est la puissance spectrale moyenne de b (resp. u)

Pour implémenter le filtre de Wiener, nous devons être en mesure d'estimer correctement.

La puissance spectrale de l'image d'origine et du bruit. Pour un bruit blanc gaussien, la puissance spectrale moyenne est égale à la variance σ^2 du bruit. La puissance spectrale de u est difficile à obtenir puisque on ne connaît pas u ! Toutefois

$$f = h * u + b \Rightarrow \hat{f} = \hat{h}\hat{u} + \hat{b} \Rightarrow |\hat{f}|^2 \simeq |\hat{h}|^2 |\hat{u}|^2 + |\hat{b}|^2 \quad (8)$$

Puisque le bruit b et l'image sont indépendants. Donc, pour un bruit gaussien

$$|\hat{u}|^2 \simeq \frac{|\hat{f}|^2 - |\hat{b}|^2}{|\hat{h}|^2} \simeq \frac{|\hat{f}|^2 - \sigma^2}{|\hat{h}|^2} \quad (9)$$

En résumé, la fonction de transfert du filtre de Wiener est donnée par

$$W = \frac{\bar{\hat{h}}}{|\hat{h}|^2 + Q^2} \quad (10)$$

Avec dans le cas où b est un bruit blanc gaussien d'écart-type σ

$$Q^2 = \frac{\sigma^2 \langle |\hat{h}|^2 \rangle}{\langle |\hat{f}|^2 \rangle - \sigma^2} \quad (11)$$

1.6. Filtre gaussien

Le filtre gaussien est largement utilisé dans la littérature comme filtre passe-bas pour le débruitage de l'image. Il peut fournir une image lissage et réduction du bruit, mais il brouille les bords et détails. Le filtre de lissage gaussien est efficace pour réduire le bruit tiré d'une distribution normale présentée comme suit :

$$G(x, y, \mu, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{(x-\mu_1)^2 - (y-\mu_2)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (12)$$

Où σ est le paramètre d'étalement (la distribution en largeur) et le couple (μ_1, μ_2) sont les moyens (emplacement du pic).

Les principales propriétés du filtre gaussien sont décrites comme suit [Seddik 2014] :

- Le lissage gaussien est très efficace pour éliminer Bruit gaussien.
- Les poids donnent une signification plus élevée aux pixels proches le bord (réduit le flou des bords).
- C'est un filtre passe-bas statique et linéaire.
- Symétrique en rotation (fonctionne de la même manière dans toutes directions).
- Le degré de lissage est contrôlé par le écart-type σ .

2. Filtrage variationnel

L'utilisation de la variation totale VT dans le traitement de l'image est motivée par le fait que la suppression du bruit est efficace de manière plus significative, la réalisation de régions homogènes avec des contours principalement nettes.

Un des plus célèbres applications de la VT régularisation dans le traitement d'images est celle du modèle de Rudin-Osher-Fatemi (ROF) pour le débruitage d'images. Ce modèle est un cas spécial du problème de reconstruction [Hacini 2014].

La modélisation mathématique du processus de dégradation et de débruitage est donnée par :

$$f = u + \eta \quad (13)$$

Où f est le bruité et l'observation, u est l'image que nous sommes récupération et η est la distribution gaussienne moyenne nulle. L'idée principale du modèle variationnel est de récupérer l'image originale u comme solution de la minimisation sans contrainte problème :

$$P : \min_u \left\{ \frac{1}{2} \|u - f\|^2 + \frac{\lambda}{2} \|\nabla u\|^2 \right\} \quad (14)$$

Où $\|\cdot\|^2$ désigne le carré de la norme et représente l'opérateur de gradient. Le premier terme de la minimisation est une régularité dont la variation totale décourage la solution d'avoir des oscillations, mais cela permet à la solution d'avoir des discontinuités. Le deuxième terme est une fidélité des données qui incite la solution à être proche de l'image observée. Le multiplicateur de Lagrange contrôle le compromis entre la régularité et termes de fidélité. La solution du problème variationnel (14) existe et est unique [Diffallah 2021].

Dans notre mémoire on a choisi les deux méthodes : ROF et GAUSS.

V. l'évaluation de la qualité d'image

En traitement d'image, la qualité est un domaine qui s'intéresse à la mesure de la perception des dégradations, distorsions, artefacts introduites dans une image par les systèmes de traitement. Il existe deux types d'évaluation : subjective et objective

1. Évaluation subjective

L'évaluation subjective de qualité représente toutes expérimentations psycho visuelles pour lesquelles un nombre d'observateurs évaluent un groupe de stimuli donné. A la fin, une note de qualité est attribuée à chaque image. Ces tests coutent chères en termes de temps et de ressources humaines. Mais ils restent le moyen le plus fiable d'évaluation de qualité étant donné que l'observateur humain reste toujours le récepteur final du contenu visuel [Dakkar 2017].

1.1. Système visuel humain (SVH)

Le système visuel humain est le moyen qui assure notre vision. De point de vue traitement de l'information, il est divisé en quatre parties : traitement optique, traitement de la rétine, traitement du corps genouillé latéral LGN (lateral geniculate nucleus) et le traitement cortical [Dakkar 2017].

Certains facteurs sont pris en compte pour s'assurer de la fiabilité de l'évaluation subjective. Ces derniers peuvent influencer le jugement des observateurs, les plus pertinents sont [Zianou 2012] :

- Distance d'observation
- Écran
- Conditions de visualisation
- Le choix des images
- Facteurs psychologiques
- Observateurs

2. Évaluation objective

L'évaluation de la qualité objective a été proposée comme solution alternative. Son objectif principal est de remplacer l'évaluation subjective par un outil de mesure automatique, corrèle à l'appréciation visuelle humaine.

L'évaluation objective fait référence aux méthodes basées sur l'analyse et la mesure quantitative du niveau de dégradation au moyen de métriques directement liées au signal physique. La tendance actuelle est d'exploiter au mieux les connaissances des mécanismes de la perception visuelle de façon à tendre vers les résultats de l'appréciation subjective. Les métriques de qualité objectives sont alors évaluées à travers l'étude de la cohérence avec les notes subjectives [Chetouani 2010].

VI. Métriques de l'évaluation de la qualité d'image

Parmi les métriques les plus connues nous avons choisi :

1. La moyenne de l'erreur quadratique (MSE)

La moyenne de l'erreur quadratique nous indique à quel point une ligne de régression est proche d'un ensemble de points. Pour ce faire, il prend les distances entre les points et la droite de régression (ces distances sont les "erreurs") et les met au carré. La quadrature est nécessaire pour supprimer tout signe négatif. Cela donne également plus de poids aux différences plus importantes. C'est ce qu'on appelle l'erreur quadratique moyenne car vous trouvez la moyenne d'un ensemble d'erreurs. Plus l'EQM est faible, meilleures sont les prévisions [Zianou 2012].

$$MSE = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (u(i, j) - f(i, j))^2 \quad (15)$$

Où : $M.N$ est nombre d'éléments (taille d'image), u et f sont respectivement les amplitudes des pixels sur les images originale et dégradée.

2. Racine de l'erreur moyenne quadratique en anglais Root Mean Square Error Critère (RMSE)

La racine de l'erreur moyenne quadratique (Root Mean Square Error), La caractérisation de la taille des écarts entre observations et mesures – Critère exactitude Le biais nous indique des écarts, mais il ne nous donne pas d'information sur l'amplitude de ces écarts, vu que les valeurs positives et négatives de ε_i se compensent dans la moyenne. Le critère RMSE (Root Mean Square Error) permet de faire ce calcul. L'amplitude des écarts ε_i peut se caractériser par la moyenne des carrés des écarts ε_i , afin de les rendre positifs. Le calcul est le suivant :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M.N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (u(i, j) - f(i, j))^2} \quad (16)$$

Avec : MN le nombre d'éléments, ε l'écart entre chaque observation i et mesure i (dimensions de X) [2].

3. Rapport signal sur bruit (SNR)

Le rapport signal sur bruit [dB] est définie par :

$$SNR = \frac{S_A - S_B}{\sigma_0} \quad (17)$$

S_A est l'image d'origine et S_B est l'image bruitée restaurée, σ_0 est l'écart type de l'image. Cette mesure de SNR est utile pour donner une indication du bruit dans une image, mais l'effet visuel exact d'un tel bruit dépend fortement de l'image [Diffellah 2021].

[2] <http://www.graie.org/graie/graiedoc/reseaux/autosurv/GRAIE-Criteres-INDICATEURS-AUTOEVALUATIONdesMODELES-AUTOSURVEILLANCE-WEB18-v1.pdf>

4. Rapport crête signal sur bruit (PSNR)

Au lieu de mesurer la distorsion, cette valeur (Peak Signal to Noise Ratio, PSNR) mesure la fidélité, puisqu'elle est proportionnelle à la qualité. Tout de même, elle est une fonction de MSE ; sa définition et son utilisation proviennent du domaine du traitement de signal [Zianou 2012]: La représentation mathématique du PSNR est la suivante :

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{256}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (18)$$

Où MSE la moyenne de l'erreur quadratique

5. Rapport signal sur bruit visuel (Visual Signal to Noise Rate VSNR)

Cette méthode basée sur l'analyse des coefficients d'ondelettes a été récemment proposée .La première étape consiste à calculer un seuil de détection dans le domaine transformé en utilisant quelques caractéristiques du SVH. L'image est considérée comme visuellement identique si le niveau de dégradation est inférieur à ce seuil [Chetouani 2010].

Le Rapport signal sur bruit visuel est défini en décibel comme suit :

$$VSNR = 10 \log \frac{c^2(u)}{VD^2} \quad (19)$$

Où $C(u)$ est le contraste moyen de l'image originale et VD est la distorsion perceptuelle.

6. Indice de similarité structurelle (SSIM)

L'Indice de similarité structurelle SSIM est une mesure de similarité entre deux images numériques. Elle a été développée pour mesurer la qualité visuelle d'une image déformée, par rapport à l'image originale. L'idée de SSIM est de mesurer la similarité de structure entre les deux images, plutôt qu'une différence pixel à pixel comme le fait par exemple le PSNR. L'hypothèse sous-jacente est que l'œil humain est plus sensible aux changements dans la structure de l'image.

La métrique SSIM est calculée sur plusieurs fenêtres d'une image. On dénote x et y l'image originale et l'image déformée respectivement. La similarité compare la luminance, le contraste et structure entre chaque couple de fenêtres. La luminance est estimée par la mesure de l'intensité moyenne de chaque fenêtre [Zianou 2012]:

$$\mu_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (20)$$

Où N : le nombre d'élément, x_i et y_i : l'intensité d'un pixel.

Le contraste pour chaque fenêtre est mesuré par:

$$\sigma_x = \left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

La similarité est déterminée par la perte de corrélation entre les deux fenêtres:

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y) \quad (22)$$

La fonction de comparaison de luminance notée par $l(x, y)$ est une fonction de x et y .

Le contraste entre deux fenêtres noté par $c(x, y)$, comparent les variances de x et y .

La troisième fonction compare les structures des deux fenêtres données par les fonctions (x, y) en fonction de deux fenêtres normalisées.

Finalement la fonction mesurant la similarité, est une fonction de $l(x, y)$, $c(x, y)$ et $s(x, y)$. Elle est de la forme :

$$S(x, y) = f(l(x, y), c(x, y), s(x, y)) \quad (23)$$

Ils ont proposé une fonction de comparaison de la luminance de la forme :

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + (k_1L)^2}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + (K_1L)^2} \quad (24)$$

K_1 est une constante de très faible valeur. La constante $(k_1L)^2$ évite l'instabilité de la fonction de comparaison lorsque $(\mu_x + \mu_y)$ sont très proches de zéro. Dans le cas des images à niveau de gris, la constante est $L = 255$ (dynamique du capteur).

La fonction de comparaison de contraste prend une forme similaire :

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + (k_2L)^2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + (k_2L)^2} \quad (25)$$

Où K_2 est une constante de très faible valeur.

La comparaison de structure est réalisée par la corrélation entre les deux vecteurs après soustraction de la luminance et normalisation par la variance. Notons que la corrélation entre les deux vecteurs est une mesure simple et effective de la similarité structurelle. Alors la fonction de comparaison structurelle est donnée par :

$$s(x, y) = \frac{2\sigma_{xy} + (k_2L)^2}{2\sigma_x\sigma_y + (k_2L)^2} \quad (26)$$

Finalement, la mesure de similarité résultante des trois comparaisons est donnée par une expression simplifiée de l'index de similarité structurelle entre x et y :

$$SSIM(x, y) = l(x, y) \cdot c(x, y) \cdot s(x, y) \quad (27)$$

Ou encore sous une forme simplifiée:

$$SSIM(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + (K_1L)^2}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + (K_1L)^2} * \frac{2\sigma_{xy} + (K_2L)^2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + (K_2L)^2} \quad (28)$$

7. L'index de qualité universel(UQI): Universal Quality Index

L'index de qualité universel (UQI) est basé essentiellement sur une analyse locale des moments. Il est obtenu en combinant différentes informations structurelles locales de l'image [Chetouani 2010].

$$UQI = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q(i) \quad (29)$$

Où :

$$Q(i) = \frac{4 \cdot \sigma_{xy}(i) \cdot \overline{x(i)} \cdot \overline{y(i)}}{(\sigma_x^2(i) + (\sigma_y^2(i)))(\overline{x(i)}^2 + \overline{y(i)}^2)} \quad (30)$$

Avec $\sigma_x^2(i)$ et $\sigma_y^2(i)$ sont les écarts types du bloc i, $\overline{y(i)}$ et $\overline{x(i)}$ sont les moyennes du bloc i. MN représente le nombre de blocs dans l'image. $\sigma_{xy}(i)$ est le coefficient de corrélation du i bloc

8. Le critère de fidélité des informations visuelles VIF

Avec les modèles source, distorsion et HVS, le critère de fidélité de l'information visuelle que nous proposer peut être dérivé. Ou $\vec{C}^N = (\vec{C}_1, \vec{C}_2, \dots, \vec{C}_N)$ dénotent N éléments de C , S^N , \vec{D}^N , \vec{E}^N et \vec{F}^N être défini en conséquence.

Nous intéressons à la qualité d'une paire d'images de référence-test particulière, et non la qualité moyenne de l'ensemble des images lors de leur passage le canal de distorsion¹. Il est donc raisonnable d'accorder le modèle de scène naturelle à une image de référence spécifique en traiter $I(\vec{C}^N; \vec{D}^N | S^N = s^N)$ à la place de $I(\vec{C}^N; \vec{D}^N)$ où S^N désigne une réalisation de SN pour une image de référence particulière. La réalisation S^N pourrait être considérée comme des « paramètres de modèle » pour l'image de référence associée.

Le conditionnement sur S est intuitivement conforme aux modèles de normalisation divisionnaires pour les neurones visuels, et prête le VIF à la traçabilité analytique également.

Pour l'image de référence, on peut analyser $I(\vec{C}^N; \vec{E}^N | S^N = s^N)$ ou S^N désigne une réalisation de SN , nous noterons $I(\vec{C}^N; \vec{E}^N | \vec{S}^N = s^N)$ comme $I(\vec{C}^N; \vec{E}^N | s^N)$ et on obtient :

$$\begin{aligned}
 I(\vec{C}^N; \vec{E}^N | s^N) &= \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N I(\vec{C}_i; \vec{E}_j | \vec{C}^{i-1}, \vec{E}^{j-1}, s^N) \\
 &= \sum_{i=1}^N I(\vec{C}_i; \vec{E}_i | s_i) \\
 &= \sum_{i=1}^N (h(\vec{C}_i + \vec{N}_i | s_i) - h(\vec{N}_i | s_i)) \\
 &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \log \left(\frac{|s_i^2 C_U + \sigma_n^2 I|}{|\sigma_n^2 I|} \right)
 \end{aligned} \tag{31}$$

De même, nous pouvons montrer que pour l'image de test :

$$\begin{aligned}
 & I(\vec{C}^N; \vec{E}^N | s^N) \\
 &= \sum_{i=1}^N (h(g_i \vec{C}_i + \vec{V}_i + \vec{N}_i | s_i) - h(\vec{V}_i + \vec{N}_i | s_i)) \quad (32) \\
 &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \log_2 \left(\frac{|g_i^2 s_i^2 C_U + (\sigma_v^2 + \sigma_n^2) I|}{|(\sigma_v^2 + \sigma_n^2) I|} \right)
 \end{aligned}$$

Puisque CU est symétrique, il peut être factorisé comme $C_U = Q\Lambda Q^T$, où Q est une matrice orthonormée, et Λ est une matrice diagonale de valeurs propres λ_k . On peut utiliser cette factorisation matricielle pour montrer :

$$\begin{aligned}
 I(\vec{C}^N; \vec{E}^N | s^N) &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M \log \left(1 + \frac{s_i^2 \lambda_k}{\sigma_n^2} \right) \quad (33) \\
 I(\vec{C}^N; \vec{F}^N | s^N) &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M \log \left(1 + \frac{g_i^2 s_i^2 \lambda_k}{\sigma_v^2 + \sigma_n^2} \right)
 \end{aligned}$$

$I(\vec{C}^N; \vec{E}^N | s^N)$ et $I(\vec{C}^N; \vec{F}^N | s^N)$ représentent les informations qui pourraient idéalement être extraites par le cerveau de une sous-bande particulière dans les images de référence et de test respectivement. On appelle $I(\vec{C}^N; \vec{E}^N | s^N)$ l'image de référence informations. Intuitivement, la qualité visuelle devrait être liée à la quantité d'informations d'image que le cerveau pourrait extraire de l'image de test par rapport à la quantité d'informations que le cerveau pourrait extraire de l'image de référence.

Le VIF proposé par les auteurs dans est donné par :

$$VIF = \frac{\sum_{j \in \text{subbands}} I(\vec{C}^{N,j}; \vec{F}^{N,j} | s^{N,j})}{\sum_{j \in \text{subbands}} I(\vec{C}^{N,j}; \vec{E}^{N,j} | s^{N,j})} \quad (34)$$

Où nous additionnons sur les sous-bandes d'intérêt, et $\vec{C}^{N,j}$ représentent N éléments du RF C_j qui décrit les coefficients de la sous-bande j , et ainsi de suite [Sheikh 2006].

VII. Conclusion

Dans cette partie nous avons présenté les méthodes d'évaluation de la qualité d'image qui se divisent en deux grandes familles : les méthodes objectives et subjectives, comme ces dernières est coûteuses au sens de matériel et du temps nous nous sommes concentrés sur les méthodes objectives tel que MSE, RMSE, SNR, PSNR, VSNR, SSIM, VIF, UQI.

Dans la prochaine partie, nous présenterons les résultats de simulations organisés dans une interface graphique.



Partie 2 :

Résultats Expérimentaux



Partie 2 : Résultats Expérimentaux

I. Introduction

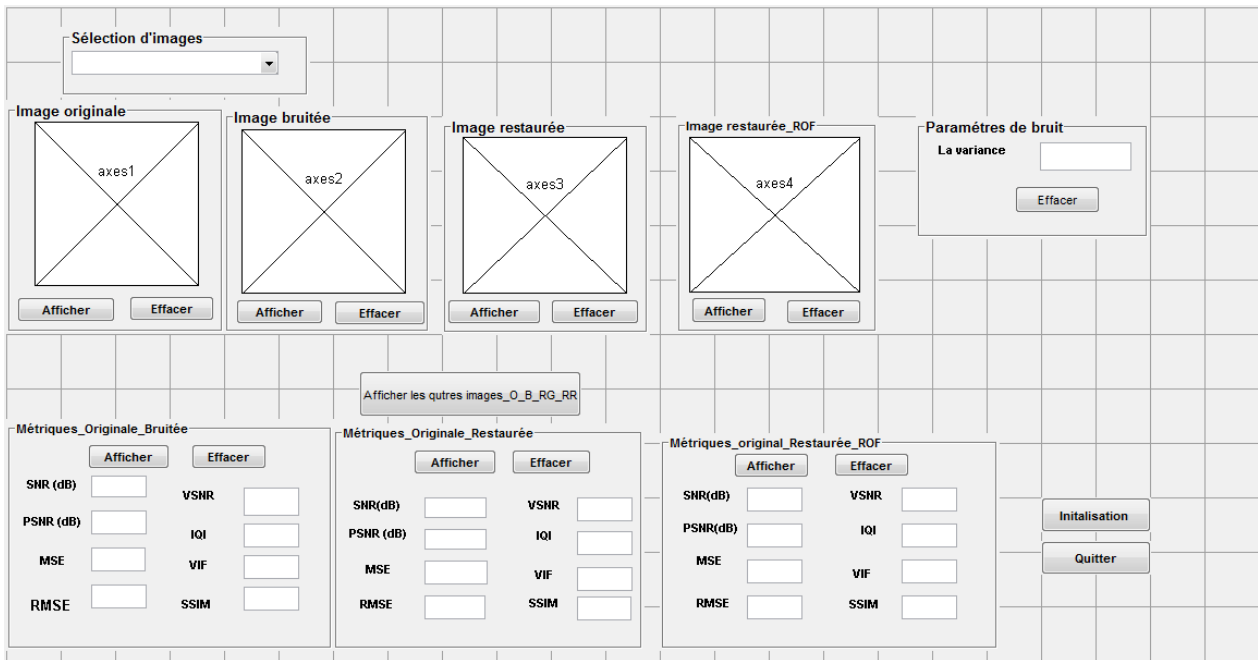
Dans cette partie, nous présentons les tests de nos métriques choisis : L'Erreur Quadratique Moyenne MSE, la racine de L'Erreur Quadratique Moyenne RMSE, le Rapport Signal sur Bruit SNR, le Rapport crête signal sur bruit PSNR, le Rapport signal sur bruit visuel VSNR, Visual Information Fidelity VIF, L'index de qualité universel UQI ainsi que l'Indice de similarité structurelle SSIM sur six images standards et sur deux méthodes de restauration la méthode classique de Gauss et la méthode variationnelle fondatrice de *ROF*. Pour mieux présenter les résultats, nous avons développé une interface graphique qui regroupe les résultats trouvés.

II. Développement d'une interface graphique sous la boîte à outil guide Matlab

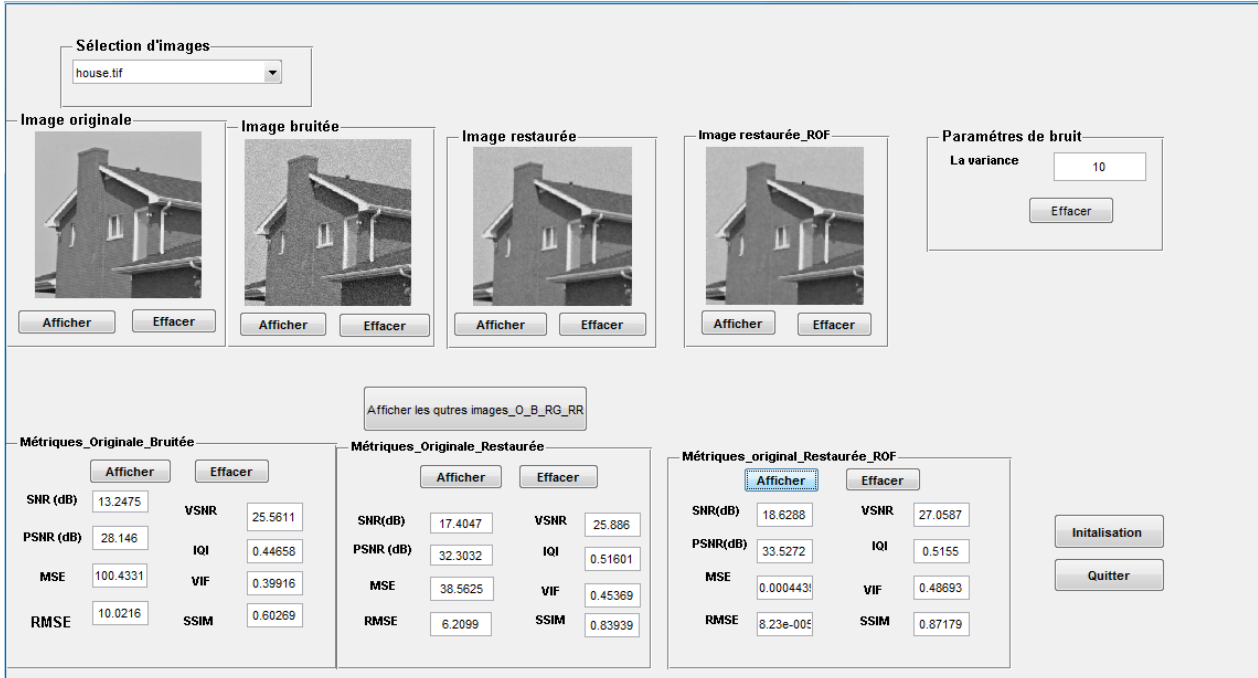
Les interfaces graphiques sous MATLAB (ou interfaces homme-machine) sont appelées GUI (Graphical User Interface). Elles permettent d'interférer avec un programme informatique, grâce à différents objets graphiques (menus, boutons, cases à cocher...) actionnés généralement à l'aide de la souris ou du clavier. Malgré que les interfaces graphiques semblent secondaires au développement du coeur d'une application, elles doivent néanmoins être conçues et développées avec soin et rigueur. Un développement maîtrisé et une bonne conception permettent également d'en assurer une meilleure maintenabilité.

Résultats Expérimentaux

La figure ci-dessous montre la structure générale de notre interface graphique



a) avant l'exécution



(b) après l'exécution

Figure.3 : la structure générale de l'interface graphique après la simulation

Résultats Expérimentaux

La création de cette interface a pour but de réaliser une étude comparative de plusieurs images (originales, bruitées et restaurées par deux méthodes de filtrage (Gauss et ROF) : Les zones utilisées dans l'interface sont :

- 'Sélection des image's à l'aide du bouton 'pop menu',
- Paramètre de bruit en utilisant les fenêtres 'statictext' et 'edittext'
- Affichage de l'image d'origine à l'aide du bouton 'axes'
- Affichage des images dégradées ainsi que les différents métriques mesurées entre les images originales et bruitées en utilisant les boutons 'axes' , 'statictext' et 'edittext'
- La dernière zone permet d'afficher l'image restaurée et les valeurs des différentes métriques mesurées entre l'image originale et restaurée en utilisant les boutons 'axes' , 'statictext' et 'edittext'
- affichage des trois images originale, bruitée et restaurée ainsi que les métriques pour les deux méthodes de filtrage en remplaçant 'axes' par 'figure'.
- il existe aussi d'autres push bouton tels que : ' afficher' , 'effacer' 'initialiser' et 'quitter '.

III. Images de test

Dans ce travail on a utilisé six images standard de taille 256×256 pixels qui sont représentées dans la figure suivante :



(a) Boats.tif



(b) Cameraman.tif



(c) House.tif



(d) Lena256.tif



(e) Parrots.tif



(f) Peppers.tif

Figure.04 : Images test

IV. Restauration d'images par différentes méthodes de filtrage

1. Test de l'image 'lena256.tif' pour $\sigma=10$



a) *Image bruitée* $\sigma = 10$ MSE =0.0015, RMSE=0.0002, SNR =13.6541dB, PSNR=28.1531 dB, VSNR =25.6246 dB, SSIM=0.7280, VIF=0.4316, UQI=0.6877.



b) *Restaurée par Gauss*
MSE =0.0014, RMSE=0.0001, SNR =14.0237 dB, PSNR=28.5727 dB, VSNR =24.4970 dB, SSIM=0.7973, VIF=0.4338, UQI=0.6996



c) *Restaurée par ROF*
MSE =0.0009, RMSE=0.0001, SNR =15.6060 dB, PSNR=30.1664 dB, VSNR =25.0345 dB, SSIM=0.8233, VIF=0.4744, UQI=0.7130

Figure 5 : Restauration de l'image bruitée 'lena256.tif' pour $\sigma = 10$

2. Test de l'image 'lena256.tif' pour $\sigma = 15$



a) *Image bruitée* $\sigma=15$, MSE =0.0035, RMSE=0.0002, SNR =10.1493 dB, PSNR=24.6293 dB, VSNR =21.2861 dB, SSIM=0.5808, VIF=0.3362 UQI=0.5631.



b) *Restaurée par Gauss*
MSE=0.0016, RMSE=0.0001, SNR =13.3369 dB, PSNR=27.8449 dB, VSNR =22.4500 dB, SSIM=0.7544, VIF=0.3914, UQI=0.6514.



c) *Restaurée par ROF*
MSE =0.0012, RMSE=0.0001, SNR =14.8261 dB, PSNR=29.3174 dB, VSNR =23.4042 dB, SSIM=0.7984, VIF=0.4308, UQI=0.6867.

Figure 6: Restauration de l'image bruitée 'lena256.tif' $\sigma=15$

Résultats Expérimentaux

3. Test de l'image 'lena256.tif' pour $\sigma = 20$



Image bruitée $\sigma=20$, MSE =0.0061, RMSE=0.0003, SNR =7.6032 dB, PSNR=22.1375 dB, VSNR =18.2850 dB, SSIM=0.4734, VIF=0.2753, UQI= 0.4739



b) Restaurée par Gauss
MSE=0.0026, RMSE=0.0001, SNR=12.5182 dB,
PSNR=27.0599 dB, VSNR=20.2885 dB,
SSIM=0.7018, VIF=0.3500, UQI=0.6093



c) Restaurée par ROF
MSE=0.0015, RMSE=0.0001, SNR=13.5728 dB,
PSNR=28.0767 dB, VSNR=21.2486 dB, SSIM=0.7437,
VIF=0.3758, UQI=0.6450

Figure 7 : Restauration de l'image bruitée 'lena256.tif' $\sigma=20$

4. Test de l'image 'lena256.tif' pour $\sigma = 25$



Image bruitée $\sigma=25$, MSE =0.0095, RMSE=0.0003, SNR = 5.6607 dB, PSNR= 20.1999 dB, VSNR = 16.1537 dB, SSIM=0.3903, VIF=0.2316, UQI= 0.4048



b) Restaurée par Gauss
MSE = 0.0024, RMSE= 0.0001, SNR = 11.6614 dB,
PSNR=26.1905 dB, VSNR = 18.5929 dB,
SSIM=0.6521, VIF= 0.3147, UQI= 0.5601



c) Restaurée par ROF
MSE =0.0022, RMSE=0.0001, SNR =11.9404 dB,
PSNR= 26.4747 dB, VSNR = 19.2932 dB,
SSIM=0.6671, VIF=0.3244, UQI= 0.5810

Figure 8 : Restauration de l'image bruitée 'lena256.tif' $\sigma=25$

5. Test de l'image 'house.tif' $\sigma=10$



Image bruitée $\sigma=10$, MSE =0.0015, RMSE=0.0002, SNR =13.2673 dB, PSNR=28.1587 dB, VSNR =25.6883 dB, SSIM=0.6036 dB, VIF=0.3998 dB, UQI=0.4493 dB



b) Restaurée par Gauss
MSE =0.0006, RMSE=0.0001, SNR =17.4064 dB, PSNR=32.2868 dB, VSNR =25.8306 dB, SSIM=0.8386, VIF=0.4521, UQI=0.5146 .



c) Restaurée par ROF
MSE =0.0005, RMSE=0.0001, SNR =18.5186 dB, PSNR=33.4636 dB, VSNR =26.7491 dB, SSIM=0.8702, VIF=0.4837, UQI=0.5202 .

Figure 9 : Restauration de l'image bruitée 'house.tif' $\sigma=10$

6. Test de l'image 'hous.tif' $\sigma=15$



Image bruitée $\sigma=15$, MSE =0.0034, RMSE=0.0002, SNR =9.7865 dB, PSNR=24.6230 dB, VSNR =21.2259 dB, SSIM=0.4453, VIF=0.3112, UQI=0.3545 .



b) Restaurée par Gauss
MSE =0.0008, RMSE=0.0001, SNR =15.9250 dB, PSNR=30.7979 dB, VSNR =22.5723 dB, SSIM=0.7673, VIF=0.4010, UQI=0.4527.



c) Restaurée par ROF
MSE =0.0006, RMSE=0.0001, SNR =16.9818 dB, PSNR=31.8486 dB, VSNR =24.0288 dB, SSIM=0.8205, VIF=0.4278, UQI=0.4752 .

Figure10: Restauration de l'image bruitée 'house.tif' $\sigma=15$

7. Test de l'image 'house.tif' $\sigma=20$



Image bruitée $\sigma=20$, MSE =0.0061, RMSE=0.0003, SNR =7.2385 dB
PSNR=22.1522 dB, VSNR =18.5229 dB, SSIM=0.3455 dB, VIF=0.2553 dB, UQI=0.2947 dB



b) Restaurée par Gauss
MSE =0.0012, RMSE=0.0001, SNR=14.3923 dB,
PSNR=29.2734dB, VSNR=20.4409 dB,
SSIM=0.6895, VIF=0.3568, UQI=0.4126



c) Restaurée par ROF
MSE=0.0010, RMSE=0.0001, SNR=14.9215dB,
PSNR=29.8004dB, VSNR=21.8385 dB,
SSIM=0.7304, VIF=0.3686, UQI=0.4315

Figure 11 : Restauration de l'image bruitée 'house.tif' $\sigma=20$

8. Test de l'image 'house.tif' $\sigma=25$



Image bruitée $\sigma=25$, MSE = 0.0096, RMSE=0.0003, SNR =5.2930 dB, PSNR= 20.1943dB,
VSNR = 16.1160 dB, SSIM=0.2752, VIF=0.2162, UQI= 0.2494



b) Restaurée par Gauss
MSE = 0.0016, RMSE=0.0001, SNR =13.0010 dB,
PSNR= 27.9645dB, VSNR = 18.2535
dB, SSIM=0.6211, VIF= 0.3198, UQI= 0.3758



c) Restaurée par ROF
MSE =0.0017, RMSE=0.0001, SNR=12.6580dB,
PSNR= 27.6094dB, VSNR = 19.4300dB,
SSIM=0.6138, VIF=0.3159, UQI =0.3772

Figure 12 : Restauration de l'image bruitée 'house.tif' $\sigma=25$

Résultats Expérimentaux

9. Test de l'image 'boats.tif' $\sigma=10$



Image bruitée $\sigma=10$, MSE =0.0015 RMSE=0.0002
SNR =13.9226 dB,PSNR=28.2043 dB,VSNR =25.2523 dB,SSIM=0.7170 ,VIF=0.4381 ,UQI=0.6617



b) Restaurée par Gauss
MSE=0.0008, RMSE=0.0001 SNR=16.3093dB, PSNR=30.6053dB, VSNR=24.3262dB, SSIM=0.8676, VIF=0.4923, UQI=0.7305.



c) Restaurée par ROF
MSE=0.0007 RMSE=0.0001 SNR=17.1740dB, PSNR=31.4064dB, VSNR=24.0031dB, SSIM=0.8888, VIF=0.5166, UQI=0.7444.

Figure 13 : Restauration de l'image bruitée 'boats.tif' $\sigma=10$

10. Test de l'image 'boats.tif' $\sigma=15$



Image bruitée $\sigma=15$, MSE =0.0034, RMSE=0.0002, SNR =10.3742 dB, PSNR=24.6510 dB, VSNR =20.7831 dB, SSIM=0.5789, VIF=0.3402, UQI=0.5641.



b) Restaurée par Gauss
MSE=0.0011 RMSE=0.0001, SNR=15.2213dB, PSNR=29.4981dB, VSNR=21.7954dB, SSIM=0.8165, VIF=0.4389, UQI=0.6859.



c) Restaurée par ROF
MSE=0.0009 RMSE=0.0001, SNR=15.9734 dB, PSNR=30.2501dB, VSNR=22.2756 dB, SSIM=0.8520, VIF=0.4607, UQI=0.7071.

Figure 14 : Restauration de l'image bruitée 'boats.tif' $\sigma=15$

11. Test de l'image 'boats.tif' $\sigma=20$



Image bruitée $\sigma=20$, MSE =0.0061, RMSE=0.0003, SNR =7.8558 dB, PSNR=22.1325 dB, VSNR =17.8048 dB, SSIM= 0.4773 , VIF=0.2757 , UQI=0.4820 .



b) Restaurée par Gauss
MSE=0.0015, RMSE=0.0001, SNR = 14.1095 dB, PSNR=28.3860 dB, VSNR=19.5407 dB, SSIM=0.7652 , VIF=0.3908 , UQI=0.6401 .



c) Restaurée par ROF
MSE=0.0013, RMSE=0.0001, SNR=14.4409 dB, PSNR=28.7174 dB, VSNR=20.4076 dB, SSIM=0.7895, VIF=0.3986 , UQI=0.6554 .

Figure 15 : Restauration de l'image bruitée 'boats.tif' $\sigma=20$

12. Test de l'image 'boats.tif' $\sigma=25$



Image bruitée $\sigma=25$, MSE = 0.0095 , RMSE=0.0003, SNR =5.9583 dB, PSNR=20.1860 dB, VSNR = 15.6250 dB, SSIM=0.3967, VIF=0.2332 , UQI= 0.4175



b) Restaurée par Gauss
MSE = 0.0019, RMSE=0.0001, SNR = 12.9945 dB, PSNR=27.2447 dB, VSNR =17.6614 dB, SSIM=0.7033, VIF= 0.3494, UQI= 0.6036



c) Restaurée par ROF
MSE = 0.0021, RMSE=0.0001, SNR =12.6305 dB, PSNR=26.8706 dB, VSNR = 18.3719 dB, SSIM=0.6964, VIF=0.3417 , UQI= 0.6008

Figure 16 : Restauration de l'image bruitée 'boats.tif' $\sigma=25$

Résultats Expérimentaux

13. Test de l'image 'peppers256.tif' $\sigma=10$

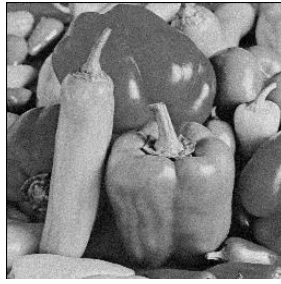


Image bruitée $\sigma=10$, MSE =0.0015, RMSE=0.0002, SNR =14.5009 dB, PSNR=28.1938 dB, VSNR =26.6015 dB, SSIM=0.6789, VIF=0.4425, UQI=0.6323.



b) Restaurée par Gauss
MSE =0.0013, RMSE=0.0001, SNR =15.2274 dB, PSNR=30.3427 dB, VSNR =25.5298 dB, SSIM=0.8763, VIF=0.5113, UQI=0.8763.



c) Restaurée par ROF
MSE =0.0009, RMSE=0.0001, SNR =18.5775 dB, PSNR=32.6527 dB, VSNR =26.7851 dB, SSIM=0.9090, VIF=0.5703, UQI=0.8089.

Figure 17 : Restauration de l'image bruitée 'peppers256.tif' $\sigma=10$

14. Test de l'image 'peppers256.tif' $\sigma=15$

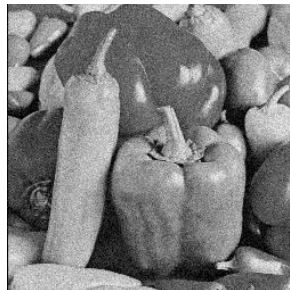


Image bruitée $\sigma=15$, MSE =0.0034, RMSE=0.0002, SNR =10.9799 dB, PSNR=24.6501 dB, VSNR = 22.2209 dB, SSIM=0.5295, VIF=0.3470, UQI=0.5208.



b) Restaurée par Gauss
MSE=0.0015, RMSE=0.0001, SNR=14.4395 dB, PSNR=29.3266 dB, VSNR =23.0933 dB, SSIM=0.8171, VIF=0.4506, UQI=0.7025.



c) Restaurée par ROF
MSE =0.0008, RMSE=0.0001, SNR=17.0981 dB, PSNR=31.2485 dB, VSNR =24.5828 dB, SSIM=0.8654, VIF=0.4990, UQI=0.7451.

Figure 18 : Restauration de l'image bruitée 'peppers256.tif' $\sigma=15$

15. Test de l'image 'peppers256.tif' $\sigma=20$

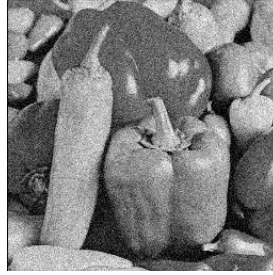
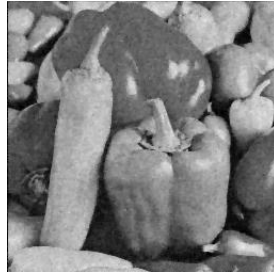
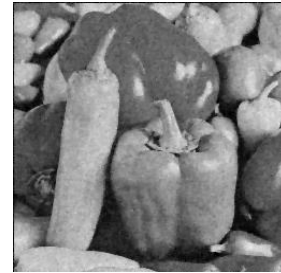


Image bruitée $\sigma=20$, MSE =0.0061, RMSE=0.0003, SNR =8.4554 dB, PSNR=22.1727 dB, VSNR =19.3158 dB, SSIM=0.4250, VIF=0.2841, UQI=0.4428.



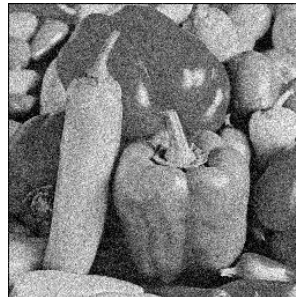
b) Restaurée par Gauss
MSE =0.0019, RMSE=0.0001, SNR =13.5975 dB, PSNR=28.2236 dB, VSNR =21.0284 dB, SSIM=0.7560, VIF=0.3987, UQI=0.6452.



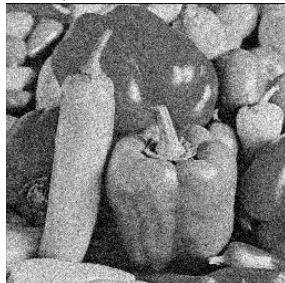
c) Restaurée par ROF
MSE =0.0013, RMSE=0.0001, SNR =15.3539 dB, PSNR=29.3878 dB, VSNR =22.2125 dB, SSIM=0.7895, VIF=0.4252, UQI=0.6741.

Figure 19 : Restauration de l'image bruitée 'peppers256.tif' $\sigma=20$

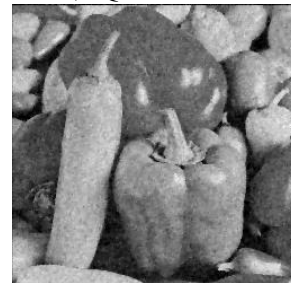
16. Test de l'image 'peppers256.tif' $\sigma=25$



a) Image bruitée $\sigma=25$, MSE = 0.0095, RMSE=0.0003, SNR =6.5427 dB, PSNR=20.2083dB, VSNR = 17.0678 dB, SSIM=0.3509, VIF=0.2422, UQI=0.3806



b) Restaurée par Gauss= MSE = 0.0023
RMSE=0.0001, SNR =12.7141 dB,
PSNR=26.3448 dB, VSNR = 19.2123 dB, SSIM=0.6914, VIF= 0.3600, UQI= 0.5967



c) Restaurée par ROF = MSE =0.0020
RMSE=0.0001, SNR = 13.4106dB,
PSNR=27.0732 dB, VSNR = 20.0883 dB, SSIM=0.6870, VIF=0.3636, UQI= 0.5978

Figure 20 : Restauration de l'image bruitée 'peppers256.tif' $\sigma=25$

17. Test de l'image 'cameraman.tif' $\sigma=10$



a) *Image bruitée* $\sigma=10$, MSE =0.0015, RMSE=0.0002, SNR =15.9075 dB, PSNR=28.1839dB, VSNR =26.7202 dB, SSIM=0.6342, VIF=0.4387 , UQI=0.4792 .



b) *Restaurée par Gauss*
MSE =0.0020, RMSE=0.0001, SNR =14.7250 dB, PSNR=27.0085 dB, VSNR =23.5371 dB, SSIM=0.8168 , VIF=0.3874, UQI=0.5112 .



c) *Restaurée par ROF*
MSE =0.0008, RMSE=0.0001, SNR =18.1646 dB, PSNR=30.4683 dB, VSNR =26.0687 dB, SSIM=0.8731, VIF=0.4775 , UQI=0.5623 .

Figure 21: Restauration de l'image bruitée 'cameraman.tif' $\sigma=10$

18. Test de l'image 'cameraman.tif' $\sigma=15$



Image bruitée $\sigma=15$, MSE =0.0034, RMSE=0.0002, SNR =12.3888 dB, PSNR=24.6477 dB, VSNR =22.1147 dB, SSIM=0.4933, VIF=0.3464 , UQI=0.4060 .



b) *Restaurée par Gauss*
MSE=0.0022, RMSE=0.0002, SNR=14.2392dB, PSNR=26.4660 dB, VSNR =21.9504dB, SSIM=0.7500, VIF=0.3478 , UQI=0.4498.



c) *Restaurée par ROF*
MSE=0.0011, RMSE=0.0001, SNR=17.2895 dB, PSNR=29.4864 dB, VSNR =24.1694 dB, SSIM=0.8258, VIF=0.4226, UQI=0.4977.

Figure 22: Restauration de l'image bruitée 'cameraman.tif' $\sigma=15$

19. Test de l'image 'cameraman.tif' $\sigma=20$



Image bruitée $\sigma=20$, MSE =0.0061, RMSE=0.0003, SNR =9.8709 dB, PSNR=22.1222 dB, VSNR =19.1941 dB, SSIM=0.4002 , VIF=0.2882 , UQI=0.3533 .



b) Restaurée par Gauss

MSE =0.0026, RMSE=0.0001, SNR =13.6171 dB,
PSNR=25.8783 dB, VSNR =20.3059 dB, SSIM=0.6762 , VIF=0.3198 , UQI=0.4122 .



b) Restaurée par ROF

MSE=0.0015, RMSE=0.0001, SNR=15.8853dB,
PSNR=28.1887dB, VSNR=22.0186dB, SSIM=0.7375, VIF=0.3741 , UQI=0.4490

Figure 23: Restauration de l'image bruitée 'cameraman.tif' $\sigma=20$

20. Test de l'image 'cameraman.tif' $\sigma=25$



Image bruitée $\sigma=25$, MSE =0.0095 RMSE=0.0003, SNR = 7.9026dB, PSNR=20.2455 dB, VSNR = 16.8334 dB, SSIM=0.3356, VIF= 0.2467, UQI= 0.3139



b) Restaurée par Gauss

MSE=0.0030, RMSE=0.0002, SNR=12.9318dB,
PSNR=25.1822 dB, VSNR =18.6592dB,
SSIM=0.6112, VIF=0.2924 , UQI= 0.3871



c) Restaurée par ROF

MSE =0.0022, RMSE=0.0001, SNR=14.2152dB,
PSNR=26.4882dB, VSNR=19.8242dB,
SSIM=0.6299, VIF=0.3265 , UQI= 0.4113

Figure 24 : Restauration de l'image bruitée 'cameraman.tif' $\sigma=25$

21. Test de l'image 'parrots.tif' $\sigma=10$



Image bruitée $\sigma=10$, MSE =0.0015, RMSE=0.0002, SNR =15.3549 dB, PSNR=28.1938 dB, VSNR =29.5293 dB, SSIM=0.6150, VIF=0.4200, UQI=0.4958.



b) Restaurée par Gauss
MSE =0.0009, RMSE=0.0001, SNR =17.5097 dB, PSNR=30.3427 dB, VSNR =26.6117 dB, SSIM=0.8711, VIF=0.5005, UQI=0.6403.



d) Restaurée par ROF
MSE =0.0005, RMSE=0.0001, SNR =19.7995 dB, PSNR=32.6527 dB, VSNR=29.1278 dB, SSIM=0.904, VIF=0.5415, UQI=0.6691.

Figure 25 : Restauration de l'image bruitée 'parrots.tif' $\sigma=10$

22. Test de l'image 'parrots.tif' $\sigma=15$

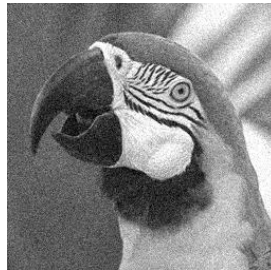


Image bruitée $\sigma=15$, MSE =0.0034, RMSE=0.0002, SNR =11.8254 dB, PSNR=24.6501 dB, VSNR =25.0538 dB, SSIM=0.4575, VIF=0.3272, UQI=0.3966.



b) Restaurée par Gauss
MSE =0.0012, RMSE=0.0001, SNR =16.5086 dB, PSNR=29.3266 dB, VSNR =24.6317 dB, SSIM=0.8019, VIF=0.4338, UQI=0.5704.



e) Restaurée par ROF
MSE=0.0007, RMSE=0.0001, SNR=18.4036 dB, PSNR=31.2485 dB, VSNR=27.0914 dB, SSIM=0.8533, VIF=0.4710, UQI=0.6032.

Figure 26 : Restauration de l'image bruitée 'parrots.tif' $\sigma=15$

23. Test de l'image 'parrots.tif' $\sigma=20$

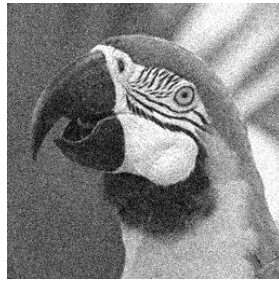


Image bruitée $\sigma=20$, MSE =0.0060, RMSE=0.0003, SNR =9.3611 dB, PSNR=22.1727 dB, VSNR = 22.0684 dB, SSIM=0.3554, VIF=0.2716, UQI=0.3266.



b) Restaurée par Gauss

MSE =0.0015, RMSE=0.0001, SNR =15.4800 dB, PSNR=28.2236dB, VSNR=22.7086dB, SSIM=0.7238, VIF=0.3811, UQI=0.5135.



f) Restaurée par ROF

MSE=0.0011, RMSE=0.0001, SNR=16.6447 dB, PSNR=29.3878dB, VSNR=24.7038dB, SSIM =0.7592, VIF=0.401, UQI=0.5307.

Figure 27 : Restauration de l'image bruitée 'parrots.tif' $\sigma=20$

24. Test de l'image 'parrots.tif' $\sigma=25$

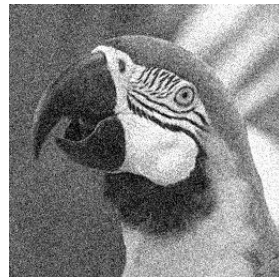


Image bruitée $\sigma=25$, MSE = 0.0095, RMSE=0.0003, SNR =7.4345 dB, PSNR= 20.2070dB, VSNR = 19.7189 dB, SSIM=0.2891, VIF= 0.2310, UQI=0.2770.



b) Restaurée par Gauss= MSE = 0.0019

RMSE=0.0001, SNR =14.3565 dB, PSNR= 27.0892dB, VSNR = 21.1153 dB, SSIM=0.6533, VIF= 0.3409, UQI=0.4713



c) Restaurée par ROF = MSE = 0.0018

RMSE=0.0001, SNR = 14.5319dB, PSNR=27.2916 dB, VSNR =22.6808 dB, SSIM=0.6442, VIF=0.3394, UQI= 0.4670

Figure 28 : Restauration de l'image bruitée 'parrots.tif' $\sigma=25$

Résultats Expérimentaux

V. Métriques

Les tableaux ci-dessous montrent les valeurs de différentes métriques : MSE, RMSE ,SNR,PSNR,VSNR ,SSIM ,VIF ,UQI .

a) La moyenne de l'erreur quadratique (MSE)

Tab2: tableau des résultats MSE				
	Variance σ	MSE		
		O_B	O_R_Gauss	O_R_ROF
Cameraman.tif	10	0.0015	0.0020	0.0008
	15	0.0034	0.0022	0.0011
	20	0.0061	0.0026	0.0015
	25	0.0095	0.0030	0.0022
	30	0.0136	0.0035	0.0034
	50	0.0380	0.0066	0.0136
Boats.tif	10	0.0015	0.0008	0.0007
	15	0.0034	0.0011	0.0009
	20	0.0061	0.0015	0.0013
	25	0.0095	0.0019	0.0021
	30	0.0136	0.0024	0.0031
	50	0.0380	0.0132	0.0055
Lena256.tif	10	0.0015	0.0014	0.0009
	15	0.0035	0.0016	0.0012
	20	0.0061	0.0020	0.0015
	25	0.0095	0.0024	0.0022
	30	0.0137	0.0029	0.0033
	50	0.0383	0.0060	0.0135
Parrots.tif	10	0.0015	0.0009	0.0005
	15	0.0034	0.0012	0.0007
	20	0.0060	0.0015	0.0011
	25	0.0095	0.0019	0.0018
	30	0.0138	0.0025	0.0030
	50	0.0378	0.0056	0.0131
Peppers256.tif	10	0.0015	0.0013	0.0009
	15	0.0034	0.0015	0.0008
	20	0.0061	0.0019	0.0013
	25	0.0095	0.0023	0.0020
	30	0.0138	0.0029	0.0031
	50	0.0380	0.0059	0.0132
House.tif	10	0.0015	0.0006	0.0005
	15	0.0034	0.0008	0.0006
	20	0.0061	0.0012	0.0010
	25	0.0096	0.0016	0.0017
	30	0.0136	0.0021	0.0029
	50	0.0383	0.0053	0.0130

Résultats Expérimentaux

b) Racine de l'erreur moyenne quadratique(RMSE)

Tab5: tableau des résultats RMSE				
	Variance σ	<i>RMSE</i>		
		O_B	O_R_Gauss	O_R_ROF
Cameraman.tif	10	0.0002	0.0002	0.0001
	15	0.0002	0.0001	0.0001
	20	0.0003	0.0001	0.0001
	25	0.0003	0.0002	0.0001
	30	0.0005	0.0002	0.0002
	50	0.0008	0.0003	0.0005
Baots.tif	10	0.0002	0.0001	0.0001
	15	0.0002	0.0001	0.0001
	20	0.0003	0.0001	0.0001
	25	0.0003	0.0001	0.0001
	30	0.0005	0.0002	0.0002
	50	0.0008	0.0003	0.0004
Lena256.tif	10	0.0002	0.0001	0.0001
	15	0.0002	0.0001	0.0001
	20	0.0003	0.0001	0.0001
	25	0.0003	0.0001	0.0001
	30	0.0005	0.0002	0.0002
	50	0.0008	0.0003	0.0005
Parrots.tif	10	0.0002	0.0001	0.0001
	15	0.0002	0.0001	0.0001
	20	0.0003	0.0001	0.0001
	25	0.0003	0.0001	0.0001
	30	0.0005	0.0002	0.0002
	50	0.0008	0.0003	0.0004
Peppers256.tif	10	0.0002	0.0001	0.0004
	15	0.0002	0.0001	0.0001
	20	0.0003	0.0001	0.0001
	25	0.0003	0.0001	0.0001
	30	0.0005	0.0002	0.0002
	50	0.0008	0.0003	0.0005
House.tif	10	0.0002	0.0001	0.0001
	15	0.0002	0.0001	0.0009
	20	0.0003	0.0001	0.0001
	25	0.0003	0.0001	0.0001
	30	0.0005	0.0002	0.0002
	50	0.0008	0.0003	0.0004

Résultats Expérimentaux

c) Rapport signal sur bruit (SNR)

Tab8 : tableau des résultats SNR				
	Variance σ	<i>SNR</i> [dB]		
		O_B	O_R_Gauss	O_R_ROF
Cameraman.tif	10	15.9075	14.7250	18.1646
	15	12.3888	14.2392	17.2895
	20	9.8709	13.6171	15.8853
	25	7.9026	12.9318	14.2152
	30	6.3190	12.2148	12.4128
	50	1.9088	9.5151	6.3930
Baots.tif	10	13.9226	16.3093	17.1740
	15	10.3742	15.2213	15.9734
	20	7.8558	14.1095	14.4409
	25	5.9583	12.9945	12.6305
	30	4.3565	11.8168	10.6833
	50	-0.0890	8.3285	4.4816
Lena256.tif	10	13.6541	14.0237	15.6060
	15	10.1493	13.3369	14.8261
	20	7.6032	12.5182	13.5728
	25	5.6607	11.6614	11.9404
	30	4.0664	10.7700	10.1837
	50	-0.3127	7.6549	4.2158
Parrots.tif	10	15.3549	17.5097	19.7995
	15	11.8254	16.5086	18.4036
	20	9.3611	15.4800	16.6447
	25	7.4345	14.3565	14.5319
	30	5.8188	13.2978	12.4643
	50	1.3825	9.7547	5.9989
Peppers256.tif	10	14.5009	15.2274	18.5775
	15	10.9799	14.4395	17.0981
	20	8.4554	13.5975	15.3539
	25	6.5427	12.7141	13.4106
	30	5.0157	11.8261	11.4945
	50	0.5380	8.5813	5.1045
House.tif	10	13.2673	17.4064	18.5186
	15	9.7865	15.9250	16.9818
	20	7.2385	14.3923	14.9215
	25	5.2930	13.0010	12.6580
	30	3.7179	11.7650	10.5357
	50	-0.7085	7.8588	3.9605

Résultats Expérimentaux

d) Rapport crête signal de l'image (PSNR)

Tab1 : tableau des résultats PSNR				
	Variance	<i>PSNR</i> [dB]		
	σ	O_B	O_R_Gauss	O_R_ROF
Cameraman.tif	10	28.1839	27.0085	30.4683
	15	24.6477	26.4660	29.4864
	20	22.1222	25.8783	28.1887
	25	20.2455	25.1822	26.4882
	30	18.6271	24.4505	24.6701
	50	14.1634	21.7679	18.6319
Baots.tif	10	28.2043	30.6053	31.4064
	15	24.6510	29.4981	30.2501
	20	22.1325	28.3860	28.7174
	25	20.1860	27.2447	26.8706
	30	18.6297	26.1286	24.9981
	50	14.1575	22.4969	18.7198
Lena256.tif	10	28.1531	28.5727	30.1664
	15	24.6293	27.8449	29.3174
	20	22.1375	27.0599	28.0767
	25	20.1999	26.1905	26.4747
	30	18.6304	25.2806	24.7386
	50	14.2095	22.1767	18.7379
Parrots.tif	10	28.1938	30.3427	32.6527
	15	24.6501	29.3266	31.2485
	20	22.1727	28.2236	29.3878
	25	20.2070	27.0892	27.2916
	30	18.6266	26.0903	25.2630
	50	14.1827	22.4588	18.7707
Peppers256.tif	10	28.1275	28.8486	32.1383
	15	24.6619	28.1270	30.7997
	20	22.1573	27.2844	29.0434
	25	20.2083	26.3448	27.0732
	30	18.6571	25.4617	25.1225
	50	14.1819	22.2761	18.7562
House.tif	10	28.1587	32.2868	33.4636
	15	24.6230	30.7979	31.8486
	20	22.1522	29.2734	29.8004
	25	20.1943	27.9645	27.6094
	30	18.6087	26.6345	25.4338
	50	14.1635	22.7434	18.8590

Résultats Expérimentaux

e) Rapport signal sur bruit visuel (VSNR)

Tab6: tableau des résultats VSNR				
	Variance σ	VSNR[<i>dB</i>]		
		O_B	O_R_Gauss	O_R_ROF
Cameraman.tif	10	26.7202	23.5371	26.0687
	15	22.1147	21.9504	24.1694
	20	19.1941	20.3059	22.0186
	25	16.8334	18.6592	19.8242
	30	14.8919	17.1398	17.7928
	50	9.8392	12.6599	11.9519
Baots.tif	10	25.2523	24.3262	24.0031
	15	20.7831	21.7954	22.2756
	20	17.8048	19.5407	20.4076
	25	15.6250	17.6614	18.3719
	30	13.7523	15.8745	16.4285
	50	8.6484	11.1283	10.7598
Lena256.tif	10	25.6246	24.4970	25.0345
	15	21.2861	22.4500	23.4042
	20	18.2850	20.2885	21.2486
	25	16.1537	18.5929	19.2932
	30	14.2486	16.8880	17.2622
	50	9.4049	12.2030	11.6231
Parrots.tif	10	29.5293	26.6117	29.1278
	15	25.0538	24.6317	27.0914
	20	22.0684	22.7086	24.7038
	25	19.7189	21.1153	22.6808
	30	17.9315	19.4628	20.6474
	50	12.9847	14.9568	14.9623
Peppers256.tif	10	26.6015	25.5298	26.7851
	15	22.2209	23.0933	24.5828
	20	19.3158	21.0284	22.2125
	25	17.0678	19.2123	20.0883
	30	17.5899	15.1686	18.1850
	50	10.1014	12.7501	12.2799
House.tif	10	25.6883	25.8306	26.7491
	15	21.2259	22.5723	24.0288
	20	18.5229	20.4409	21.8385
	25	16.1160	18.2535	19.4300
	30	14.3719	16.6769	17.2951
	50	9.4240	11.7027	11.4602

Résultats Expérimentaux

f) Indice de similarité structurelle(SSIM)

Tab3 : tableau des résultats SSIM				
	Variance σ	SSIM		
		O_B	O_R_Gauss	O_R_ROF
Cameraman.tif	10	0.6342	0.8168	0.8731
	15	0.4933	0.7500	0.8258
	20	0.4002	0.6762	0.7375
	25	0.3356	0.6112	0.6299
	30	0.2875	0.5487	0.5253
	50	0.1774	0.3812	0.2758
Baots.tif	10	0.7170	0.8676	0.8888
	15	0.5789	0.8165	0.8520
	20	0.4773	0.7652	0.7895
	25	0.3967	0.7033	0.6964
	30	0.3364	0.6565	0.6100
	50	0.1897	0.4905	0.3350
Lena256.tif	10	0.7280	0.7973	0.8233
	15	0.5808	0.7544	0.7984
	20	0.4734	0.7018	0.7437
	25	0.3903	0.6521	0.6671
	30	0.3286	0.6017	0.5786
	50	0.1862	0.4411	0.3158
Parrots.tif	10	0.6150	0.8711	0.9043
	15	0.4575	0.8019	0.8533
	20	0.3554	0.7238	0.7592
	25	0.2891	0.6533	0.6442
	30	0.2373	0.5881	0.5273
	50	0.1364	0.3961	0.2472
Peppers256.tif	10	0.6789	0.8763	0.9090
	15	0.5295	0.8171	0.8654
	20	0.4250	0.7560	0.7895
	25	0.3509	0.6914	0.6870
	30	0.2940	0.6327	0.5798
	50	0.1652	0.4572	0.2983
House.tif	10	0.6036	0.8386	0.8702
	15	0.4453	0.7673	0.8205
	20	0.3455	0.6895	0.7304
	25	0.2752	0.6211	0.6138
	30	0.2297	0.5589	0.5005
	50	0.1242	0.3773	0.2345

Résultats Expérimentaux

g) L'index de qualité universel (UQI)

Tab4 : tableau des résultats UQI				
	Variance σ	UQI		
		O_B	O_R_Gauss	O_R_ROF
Cameraman.tif	10	0.4792	0.5112	0.5623
	15	0.4060	0.4498	0.4977
	20	0.3533	0.4122	0.4490
	25	0.3139	0.3871	0.4113
	30	0.2792	0.3582	0.3696
	50	0.1917	0.2926	0.2573
Baots.tif	10	0.6617	0.7305	0.7444
	15	0.5641	0.6859	0.7071
	20	0.4820	0.6401	0.6554
	25	0.4175	0.6036	0.6008
	30	0.3646	0.5696	0.5454
	50	0.2232	0.4587	0.3521
Lena256.tif	10	0.6877	0.6996	0.7130
	15	0.5631	0.6514	0.6867
	20	0.4739	0.6093	0.6450
	25	0.4048	0.5601	0.5810
	30	0.3502	0.5254	0.5211
	50	0.2135	0.4060	0.3258
Parrots.tif	10	0.4958	0.6403	0.6691
	15	0.3966	0.5704	0.6032
	20	0.3266	0.5135	0.5307
	25	0.2770	0.4713	0.4670
	30	0.2365	0.4304	0.4012
	50	0.1479	0.3189	0.2333
Peppers256.tif	10	0.6323	0.8763	0.8089
	15	0.5208	0.7025	0.7451
	20	0.4428	0.6452	0.6741
	25	0.3806	0.5967	0.5978
	30	0.3303	0.5542	0.5249
	50	0.2052	0.4293	0.3222
House.tif	10	0.4493	0.5146	0.5202
	15	0.3545	0.4527	0.4752
	20	0.2947	0.4126	0.4315
	25	0.2494	0.3758	0.3772
	30	0.2193	0.3462	0.3339
	50	0.1359	0.2668	0.2094

Résultats Expérimentaux

h) Le critère de fidélité des informations visuelles(VIF)

Tab7: tableau des résultats Vif				
	Variance σ	VIF		
		O_B	O_R_Gauss	O_R_ROF
Cameraman.tif	10	0.4387	0.3874	0.4775
	15	0.3464	0.3478	0.4226
	20	0.2882	0.3198	0.3741
	25	0.2467	0.2924	0.3265
	30	0.2126	0.2659	0.2809
	50	0.1401	0.2006	0.1757
Baots.tif	10	0.4381	0.4923	0.5166
	15	0.3402	0.4389	0.4607
	20	0.2757	0.3908	0.3986
	25	0.2332	0.3494	0.3417
	30	0.2006	0.3147	0.2917
	50	0.1229	0.2084	0.1608
Lena256.tif	10	0.4316	0.4338	0.4744
	15	0.3362	0.3914	0.4308
	20	0.2753	0.3500	0.3758
	25	0.2316	0.3147	0.3244
	30	0.1988	0.2835	0.2781
	50	0.1239	0.1948	0.1582
Parrots.tif	10	0.4200	0.5005	0.5415
	15	0.3272	0.4338	0.4710
	20	0.2716	0.3811	0.4017
	25	0.2310	0.3409	0.3394
	30	0.2007	0.3045	0.2875
	50	0.1282	0.2049	0.1625
Peppers256.tif	10	0.4425	0.5113	0.5703
	15	0.3470	0.4506	0.4990
	20	0.2841	0.3987	0.4252
	25	0.2422	0.3600	0.3636
	30	0.2125	0.3260	0.3112
	50	10.0431	0.2218	12.1120
House.tif	10	0.3998	0.4521	0.4837
	15	0.3112	0.4010	0.4278
	20	0.2553	0.3568	0.3686
	25	0.2162	0.3198	0.3159
	30	0.1898	0.2898	0.2674
	50	0.1181	0.1953	0.1528

VI. Interprétation des résultats

Sur la base des résultats présentés dans les tableaux ci-dessus, nous remarquons que :

- Tous les métriques des restaurées sont meilleurs par rapport aux images bruitée.
- Plus la variance de bruits est grande, plus l'image est dégradée et les valeurs des métriques mse et $rmse$ sont plus grandes preuve que l'image est déformée.
- Pour le reste des métriques plus la variance de bruit est grande, plus leurs valeurs est faible en raison de la mauvaise qualité de l'image et de la distorsion d'un plus grand nombre de pixels. Plus la variance est petite, la qualité de l'image est bonne et les résultats des métriques sont améliorés.
- En ce qui concerne les méthodes de récupération d'image, en comparant Gauss et ROF , nous notons que dans la plage comprise entre 10 et 20, l'approche variationnelle ROF est meilleure en récupération d'image, où l'erreur mse et $rmse$ est plus petite et les valeurs SNR, PSNR, VSNR, SSIM, VIF, UQI des sont plus grandes.
- Lorsque la variance varie au voisinage de 20 à 25 la qualité de l'image récupérée par les deux méthodes est proche,
- et quand la variance dépasse 25, la méthode de Gauss devient un peu plus efficace par rapport à ROF .

VII. Conclusion

L'objectif de ce chapitre était de proposer une interface graphique qui facilite la d'un côté la visualisation des images : originales, dégradées et restaurées par filtrage de Gauss et l'approche de ROF. Et d'un côté le calcul des différentes métriques proposées dans la partie théoriques.



Conclusion
Générale



Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire s'articule autour des mesures de qualité d'images. Nous avons utilisés deux méthodes de restauration, la méthode de Gauss et la méthode variationnelle de *ROF* pour tester ces métriques. L'obtention d'une image de haute qualité à partir de la version dégradée par le bruit gaussien, avec le moins de bruit possible est le but du filtrage, la comparaison entre les deux méthodes est basée sur le calcul des métriques suivants : MSE, RMSE, SNR, PSNR, VSNR, SSIM, VIF, UQI. Pour tester l'efficacité de ces métriques, plusieurs images de test sont utilisées, et les résultats montrent que la méthode de l'algorithme ROF est plus efficace que le filtre gaussien dans la réduction du bruit lorsque le bruit est grand.

Ce travail ouvre des perspectives intéressantes pour la segmentation, la compression ou la restauration des images :

- Utiliser d'autres méthodes pour la restauration d'image.
- Appliquer d'autres mesures de qualité.



Bibliographie



Bibliographie

- [Barakat 1997] Barakat, V., et al. "Etude comparative de méthodes de restauration d'images dans le cas d'un modèle de dégradation spatialement variant." *16° Colloque sur le traitement du signal et des images, FRA, 1997*. GRETSI, Groupe d'Etudes du Traitement du Signal et des Images, 1997.
- [Bendaoud 2007] BENDAOUZ MOHAMED, Habib. *Développement de méthodes d'extraction de contours sur des images à niveaux de gris*. (Doctoral dissertation, Université Mohamed Boudiaf des Sciences et de la Technologie-Mohamed Boudiaf d'Oran).2017
- [Chetouani 2010] Chetouani, Aladine. *Vers un système d'évaluation de la qualité d'image multi-critères*. (Doctoral dissertation, paris; Université Paris-Nord-Paris XIII).2010
- [Chikh 2011] [M .T.Chikh , amélioration des images par un modèle de réseau de neurones(comparaison avec les filtres de base), université abou-bakr belkaid tlemcen.2011]
- [Diffellah 2021] DIFFELLAH Nacira, HAMDINI Rabah, et BEKKOUCHE Tewfik. Comparative study of variational image denoising and conventional based filtering methods. *1st National Conference on Applied Science and Advanced Materials, NCASAM, December 20-22, 2021 – ENSET–Skikda, Algeria*. <https://sites.google.com/enset-skikda.dz/ncasam-2021/schedule?authuser=0>
- [Diffellah. 2021] DIFFELLAH Nacira, HAMDINI Rabah, et BEKKOUCHE Tewfik. Image denoising algorithms using norm minimization techniques. *ICCSA'2021 the 2nd International Conference on Computer Science's Complex Systems and their Applications . Oum El Bouaghi, Algeria, from 25 - 26 May 2021*<http://www.univoeb.dz/relacs/ICCSA2021.html#program>. Published on CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org, ISSN 1613- 0073) CEUR-WS.org/vol-2904/17.pdf P 242-252.
- [Dakkar 2017] Dakkar, BorhenEddine, and Fella Hachouf. *Évaluation de la qualité perceptuelle des signaux multimédias*. (Doctoral dissertation.Université frères Mentouri Constantine). 2017
- [Diane 2004] L. DIANE, « *cours de traitement image*», ISRN13S/RR_2004-05-FR..
- [Fourati 2009] Techniques de Débruitage d'ImagesWiem FOURATI et Mohamed Salim BOUHLEL *L'Unité Sciences Et Technologies de l'Image et des Télécommunications SETIT, ISBS Sfax-TUNISIE* March 22-26, 2009 – TUNISIA

Bibliographie

- [Hacini 2014] HACINI Meriem .*Restauration d'Images par les Méthodes Variationnelles*(Doctoral dissertation, Université frères Mentouri Constantine.). 2014
- [Lacoume1995] Livre méthode et technique de traitement de signal (Jacques Max jean-la coume) 4 aout1995 '2eme cycle _ecole d'ingerieur' '5eme edition'
- [Maîtrev 2003] Maîtrev. H et al. «*Le traitement des images*». Lavoisier, 2003.
- [Maïtine 2011] Maïtine Bergounioux Quelques méthodes de filtrage en Traitement d'Image
HAL Id: hal-00512280<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00512280v1>
Preprint submitted on 29 Aug 2010 (v1), last revised 24 Feb 2011 (v2)
- [Sandeli 2014] [M Sandeli, traitement d'images par des approches bio-inspirées application à la segmentation d'images, université constantine 2. 2014.]]
- [Seddik 2014] Seddik, Hassene. "A new family of Gaussian filters with adaptive lobe location and smoothing strength for efficient image restoration." *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing* 2014.1 (2014): 1-11.
- [Sheikh 2006] Sheikh, Hamid R., and Alan C. Bovik. "Image information and visual quality." *IEEE Transactions on image processing* 15.2 (2006): 430-444.
- [Zianou 2012] Zianou Ahmed Seghir , Evaluation de la qualité d'image ZianouSoutenue(Docteur en Sciences) Université frères Mentouri Constantine le 24/06/2012

الملخص

إن فكرة جودة الصورة هي قبل كل شيء فكرة ذاتية تعتمد على الإدراك البصري للبشر. تسعى جميع طرق معالجة الصور الرقمية إلى ضمان الجودة المرئية للصور المعالجة أو الحفاظ عليها بعد التجزئة أو الضغط أو التصفية. كجزء من هذا المشروع، نحن مهتمون بالمشكلات المتعلقة بالجودة الموضوعية للصور المستعادة. لتقييم جودة الصورة بشكل موضوعي، تتم دراسة وتنفيذ المقاييس الكمية للتنبؤ تلقائيًا بالجودة الإدراكية للصورة المعالجة، أي متوسط الخطأ المربع، وراديو الإشارة إلى الضوضاء، وجذر الجذر التربيعي يعني الخطأ التربيعي، ومؤشر التشابه الهيكلي، والإشارة البصرية إلى نسبة الضوضاء، إشارة الذروة إلى نسبة الضوضاء، مؤشر الجودة العالمي، دقة المعلومات المرئية

الكلمات المفتاح (*): الضوضاء، الاستعادة، جودة الصورة، القياس الموضوعي، القياس الذاتي،

Résumé

La notion de qualité de qualité d'image est avant tout une notion subjective qui dépend de la perception visuelle de l'être humain. Toutes les méthodes de traitement numérique des images cherchent à garantir ou maintenir la qualité visuelle des images traitées après segmentation, compression ou filtrage. Dans le cadre de ce projet, nous nous intéressons aux problèmes liés à la qualité objective des images restaurées. Pour évaluer objectivement la qualité d'image, des mesures quantitatives sont étudiées et implémentées pour prévoir automatiquement la qualité perceptive de l'image traitée, à savoir Mean Square Error (MSE), Signal-to-Noise Ratio (SNR), the square Root of the Mean Square Error (RMSE), Structural Similarity Index (SSIM), Visual Signal to Noise Rate (VSNR), Peak Signal to Noise Ratio (PSNR), Universal Quality Index (UQI), Visual Information Fidelity (VIF)

Mots clés (*): bruit, restauration, qualité d'image, mesure objective, mesure subjective,...

Abstract

The notion of image quality quality is above all a subjective notion that depends on the visual perception of human beings. All digital image processing methods seek to guarantee or maintain the visual quality of the processed images after segmentation, compression or filtering. As part of this project, we are interested in problems related to the objective quality of the restored images. To objectively assess the image quality, quantitative measures are studied and implemented to automatically predict the perceptual quality of the processed image, namely Mean Square Error (MSE), Signal-to-Noise Ratio (SNR), the square Root root mean square error (RMSE), structural similarity index (SSIM), visual signal to noise ratio (VSNR), peak signal to noise ratio (PSNR), universal quality index (UQI), visual information fidelity (VIF)

Keywords (*): noise, restoration, image quality, objective measurement, subjective measurement, ...