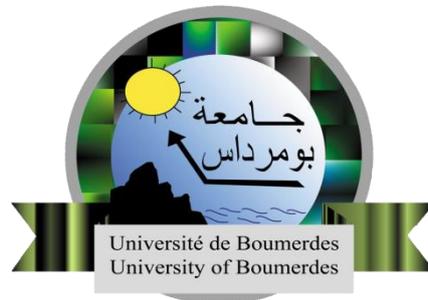


République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES**



Faculté des Sciences de l'Ingénieur

**Mémoire de Master**

Présenté par :

**LAMRAOUI Djedjiga et SLIMANI Hanane**

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en

Génie Electrique

Option :

Signal et Communications

**Thème :**

**Filtrage des images par différentes approches**

<b>Président</b>	A. MAOUTSI	MCB	UMBB
<b>Rapporteur</b>	K. HARRAR	MCB	UMBB
<b>Examineur</b>	S. MASSOUT	MAA	UMBB
<b>Examineur</b>	N. BOURKACHE	MAA	UMBB

- Promotion Juin 2017 -





## REMERCIEMENTS

*Nous remercions Dieu de nous avoir donné la volonté et le courage afin d'arriver à ce modeste travail.*

*Nous tenons à exprimer vivement notre profonde gratitude à notre promoteur Monsieur : K.HARRAR pour sa confiance, ses encouragements, ses merveilles corrections et pour les conseils qu'il a apporté pour l'achèvement de ce projet.*

*Nous tenons également à remercier l'ensemble de membres de jury qui nous ont fait l'honneur de juger notre travail.*

*Nous présentons aussi nos remerciements à tous nos professeurs de la spécialité Génie Electrique.*

*Nous tenons aussi à exprimer nos remerciements à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin durant l'élaboration de notre mémoire de fin d'étude.*

*Djedjiga et Hanane*

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes très chers parents pour les sacrifices et les encouragements qu'ils n'ont cessé de me Conférer. Que dieu les garde éternellement heureux.*

*A mon cher frère Kamel, à mes sœurs et ses familles, tous par leurs noms ; à Fariza, son époux Fatah et ses adorables filles Naila et Myriam, à Nassima, son époux Kamal et son fils Samir le nouveau-né, sans oublier ma jolie sœur Amira Nabila.*

*A mon binôme Hanane que je remercie pour avoir partagé avec moi ces moments pour la réalisation de ce modeste travail et j'espère en garder de très bons souvenirs.*

*A tous mes professeurs de la spécialité Génie Electrique, en particulier Signal et Communication.*

*A tous mes amis sans particularité, A tous ce qui ont contribués de près ou de loin.*

*Djedjiga*

# Dédicace

*Au nom de DIEU clément et miséricordieux c'est avec un grand sentiment d'euphorie, que je dédie Ce modeste labeur:*

*A mes parents qui m'ont toujours poussé et motivé dans mes études. Ce mémoire représente donc l'aboutissement du soutien et des encouragements qu'ils m'ont prodigués tout au long de ma scolarité.  
Qu'ils en soient remerciés  
Par cette modeste dédicace.*

*A mon marie RABAH pour son soutien à chaque moment et son encouragement.*

*A mon cher frère ABD ELHAK*

*A mes chères sœurs AMINA, son époux MOULOUD et son fils ZAKARIA et à FATMA ELZOHRA.*

*A mon bônôme DJEDJIGA.*

*A ma deuxième famille \* SLIMANI\*.*

*A mes oncles et mes tantes.*

*A mes cousins et cousines.*

*A tous mes amis et plus particulièrement ceux de notre promotion, ainsi que toutes les personnes qui n'ont pas hésité à m'apporter leur soutien, à toute personne ayant contribué à l'élaboration de ce mémoire.*

*Hanane*

تعد معالجة الصور الرقمية و تحسينها من الحقول المهمة و المستخدمة بكثرة في العديد من الفروع الخاصة بمعالجة الصور، و لأهمية الصور في عدة مجالات في الحياة، و لكونها تتعرض عند التعامل معها أو إرسالها عبر قناة معينة لكثير من الضوضاء أو التشويش لذا و جب استخدام طرائق لتنقية هذه الصور من الضوضاء الداخلة إليها . في دراستنا تستخدم خمس مرشحات على النحو التالي: متوسط، مرشح ناجاو، التمويه، وينر والموجيات على أنواع مختلفة من الصور ذات ضوضاء مختلفة لدراسة أدائها. يتم عرض النتائج في الجداول الإحصائية والرسوم البيانية و سوف ننظر في جودة الصورة و في النهاية ، حسب الدراسة الموضوعية والتجريبية تقترح الذاتية أفضل مرشح.

**الكلمات المفتاحية :** معالجة الصور، ضوضاء، ترشيح ، نوعية الصورة.

## **RESUME**

Le filtrage et le rehaussement d'images est un champ important qui est employé infiniment dans le traitement d'images, où des images sont corrompues par différents types de bruit. Pour cela, des méthodes et des techniques doivent être employées pour supprimer ces bruits. Dans notre étude cinq filtres sont utilisés, à savoir : Median, Nagao, Gaussien, Wiener et le filtre par ondelettes, sur différentes natures d'images affectées par différents types de bruits, afin d'étudier leur performance. Les résultats obtenus sont présentés et discutés en termes de qualité visuelle. En fin d'après l'étude subjective, l'étude objective et les résultats expérimentaux le meilleur filtre est proposé.

**Mots clés :** traitement d'image, bruit, filtrage, qualité d'image.

## **ABSTRACT**

Image filtering and enhancement is an important field that is used infinitely in image processing, where images are corrupted by many kinds of noises. Different methods and techniques should be used to remove these noises. In our study five filters are used such as: Median, Nagao, Gaussian, Wiener and Wavelet filter on different kinds of images, affected by different noises in order to study their performance. The results obtained are presented and discussed in terms of the visual quality. Using the subjective study, objective study and experimental results the best filter is proposed.

**Keywords:** image processing, noise, denoising, image quality.

# Sommaire

Liste des figures .....	i
Liste des tableaux .....	v
<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>

## Chapitre I : Généralités sur l'image

I.1. Introduction.....	3
I.2. Généralités sur le traitement d'images.....	3
I.2.1. Définitions.....	3
I.2.1.1. Image binaire.....	3
I.2.1.2. Image d'intensités .....	4
I.2.1.3. Image couleur RGB.....	4
I.2.1.4. Image couleur indexée .....	4
I.2.2. Les formats d'images numériques .....	4
I.2.2.1. Les images matricielles (bitmap) .....	5
I.2.2.1. Les images vectorielles .....	5
I.2.3. Caractéristiques de l'image numérique.....	5
I.2.3.1. Pixel .....	5
I.2.3.2. Bruit .....	6
I.2.3.3. Contour et texture.....	6
I.2.3.4. Codage ou niveaux de gris .....	6
I.2.4. Histogramme .....	6
I.2.5. Obtention des données images .....	8
I.2.6. Binarisation d'images .....	9
I.3. Conclusion .....	10

## Chapitre II : Modélisation du bruit

II.1. Introduction .....	11
II.2. Modèles de bruits de l'image.....	11
II.2.1. bruit additif .....	11

II.2.1. bruit multiplicatif .....	11
II.3. Sources de bruit .....	12
II.3.1. Bruit lié au contexte de l'acquisition .....	13
II.3.2. Bruit lié à l'échantillonnage.....	13
II.3.3. Bruit lié à la nature de la scène .....	13
II.3.4. Problèmes de transmission.....	13
II.3.5. Problèmes de compression.....	13
II.4. Types de bruit .....	14
II.4.1. Bruit de Poisson :.....	14
II.4.2. Bruit d'amplificateur (bruit gaussien) .....	14
II.4.3. Bruit de tache (Speckle).....	15
II.4.4. Bruit sel et poivre.....	16
II.4.5. Bruit thermique.....	17
II.4.6. Bruit Gamma .....	17
II.4.7. Bruit périodique.....	18
II.4.8. Bruit numérique.....	18
II.4.8.1. Bruit de chrominance.....	18
II.4.8.2. Bruit de luminance.....	18
II.4.9. Flou.....	19
II.5. Mesures de bruit .....	20
II.5.1. Erreur quadratique moyenne (MSE).....	20
II.5.2. Rapport crête signal sur bruit (PSNR) .....	20
II.5.3. Rapport signal sur bruit (SNR) .....	20
II.6. Conclusion .....	21

## **Chapitre III : Filtrage des images**

III.1. Introduction .....	22
III.2. Filtrage .....	22
III.2.1. Filtrage morphologique .....	22
III.2.2. Filtrage linéaire.....	22
III.2.2.1. Filtrage linéaire global.....	23
III.2.2.2. Filtrage linéaire local.....	23

III.2.3. Filtrage adaptatif.....	24
III.2.3.1. Filtres d'ordre .....	24
III.2.3.2. Filtres de position .....	25
III.3. Méthodes de filtrage utilisé .....	25
III.3.1. Filtre médian.....	25
III.3.2. Filtre de Nagao .....	27
III.3.3. Filtrage gaussien.....	28
III.3.3.1. Courbe de Gauss.....	29
III.3.3.2. Masque gaussien.....	30
III.3.4. Filtre de Wiener.....	30
III.3.5. Filtrage par ondelettes .....	31
III.3.5.1. Quelques familles d'ondelettes.....	32
III.3.5.2. Principe général du débruitage par seuillage des coefficients d'ondelettes.....	36
III.3.5.3. Différents types de seuillage.....	37
III.3.5.4. Méthode de filtrage par ondelettes .....	38
III.4. Conclusion.....	39

## **Chapitre IV : Résultats et interprétations**

IV.1. Introduction.....	40
IV.2. Mécanisme de travail .....	40
IV.3. Implémentation et résultats .....	41
IV.3.1. Etude 01 : Filtrage d'une image photographique (Lena) bruitée .....	41
IV.3.1.2. Comparaison entre les meilleurs masques des filtres .....	49
IV.3.2. Etude II : Filtrage des images affectées simultanément par trois types de bruits.....	52
IV.3.2.1. Résultats du filtrage.....	52
IV.3.2.2. Discussion sur les cinq filtres utilisés.....	58
IV.3.3. Etude 03 : Etude de cinq filtres sur l'image Lena bruitée par un bruit aléatoire.....	60
IV.4. Conclusion .....	63
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>64</b>

# *Liste des figures*

## Liste des figures

### Chapitre I

Figure I.1 : Image binaire.....	4
Figure I.2 : Représentation des pixels dans une image .....	6
Figure I.3 : Histogramme d'une image sombre. ....	7
Figure I.4 : Histogramme d'une image claire. ....	7
Figure I.5 : Histogramme de l'hibiscus. ....	7
Figure I.6 : Deux images différentes peuvent avoir le même histogramme . ....	8
Figure I.7 : Echantillonnage d'une image. ....	8
Figure I.8 : Quantification d'une image. ....	9
Figure I.9 : Fonctions de seuillage . ....	9
Figure I.10 : (a) image originale, (b)Histogramme, (c) Image seuillée avec fenêtre d'intensité entre 30 et 100, (d) Seuillage à $S=100$ . ....	10

### Chapitre II

Figure II.1 : Evolution de l'écart type en fonction de la moyenne ; cas d'une image dégradée par un bruit additif . ....	12
Figure II.2 : Evolution de l'écart type en fonction de la moyenne ; cas d'une image dégradée par un bruit multiplicatif .....	12
Figure II.3 : (a) Image originale, (b) image compressée en JPEG (5%), (c) image dégradée par un bruit gaussien ( $\sigma = 20$ ) et (d) image dégradée par un bruit poissonien .....	14
Figure II.4 : PDF du bruit gaussien .....	15
Figure II.5 : (a) image originale. (b) image bruitée par un bruit blanc additif de $\sigma=16$ .....	16

Figure II.6 : (a) image originale, (b) image représente bruit de Speckle .	16
Figure II.7 : PDF du bruit poivre et sel .	16
Figure II.8 : (a) image originale, (b) image bruitée par un bruit sel et poivre de 10% .	17
Figure II.9 : PDF de bruit Gamma .	17
Figure II.10 : (a) image originale, (b) image bruitée par un bruit gamma .	18
Figure II.11 : (a) bruit de chrominance, (b) bruit de luminance.	19
Figure II.12 : Exemple sur le flou d'image (flou de mouvement) .	19

### *Chapitre III*

Figure III.1 : Mise en œuvre du filtre median .	26
Figure III.2 : Exemple de filtrage médian. (a) Image dégradée avec un bruit aléatoire avec une probabilité de 20%, (b) Résultat du filtrage avec un filtre médian de 3x3.	26
Figure III.3 : Les 9 fenêtres du filtre Nagao.	27
Figure III.4 : Filtrage Nagao. (a) image aérienne, (b) image filtrée par Nagao.	28
Figure III.5 : Exemple de filtre Gaussien. (a) image bruitée, (b) image filtrée.	29
Figure III.6 : Courbe de Gauss 2D .	29
Figure III.7 : (a) image originale (b) image bruitée (c) application du filtre Wiener.	31
Figure III.8 : Ondelettes de Shannon 3-bandes dans le domaine fréquentiel.	32
Figure III.9 : Ondelettes mère proposées par Daubechies.	33
Figure III.10 : Les réponses en fréquence d'ondelettes mères Daubechies 9/7.	33
Figure III.11 : Ondelette mère de Meyer.	34
Figure III.12 : Ondelettes de Meyer 3-bandes dans le domaine fréquent .	34

Figure III.13 : Ondelette mère de haar. ....	35
Figure III.14 : Ondelettes de Haar dans le domaine fréquentiel .....	35
Figure III.15 : Ondelettes de franklin dans le domaine fréquentiel. ....	36
Figure III.16 : Courbe du seuillage dur. ....	37
Figure III.17 : Courbe du seuillage doux. ....	38
Figure III.18 : (a) image originale (b) image bruitée (c) image débruitée par un seuillage doux (d) image débruitée par un seuillage dur. Débruitage de l'image bruitée par l'ondelette de Haar .....	39

### *Chapitre IV*

Figure IV.1: Processus du filtrage d'images. ....	41
Figure IV.2 : Etude subjective des résultats de filtrage par trois masques median d'une image photographique bruité par 3 bruits. ....	43
Figure IV.3 : Etude subjective des résultats du filtre de Nagao d'une image photographique bruitée par 3 bruits. ....	44
Figure IV.4 : Etude subjective des résultats de filtrage par trois masques Gaussien d'une image photographique bruitée par les 3 bruits. ....	46
Figure IV.5 : Etude subjective des résultats de filtrage par trois masques Wiener d'une image photographique bruitée par 3 bruits.....	47
Figure IV.6 : Etude subjective des résultats de filtrage par trois familles d'ondelettes d'une image photographique bruitée par 3 bruits. ....	49
Figure IV.7 : Comparaison graphique entre les résultats des filtres de meilleures performances sur l'image Lena bruitée par le bruit sel et poivre. ....	50
Figure IV.8 : Comparaison graphique entre les résultats des filtres de meilleures performances sur l'image Lena bruitée par le bruit gaussien.....	51

Figure IV.9 : Comparaison graphique entre les résultats des filtres de meilleures performances sur l'image Lena bruitée par le bruit speckle. ....	52
Figure IV.10 : Images originales utilisées.....	53
Figure IV.11 : Résultats subjectifs du filtrage par trois masques median pour 3 images bruitées par trois bruits simultanément. ....	54
Figure IV.12 : Résultats subjectifs du filtre de Nagao sur 3 images bruitées par trois bruits simultanément. ....	55
Figure IV.13 : Résultats subjectifs du filtrage par trois masques Gaussien pour 3 images bruitées par trois bruits simultanément. ....	56
Figure III.14 : Résultats subjectifs du filtrage par trois masques Wiener pour 3 images bruitées par trois bruits simultanément. ....	57
Figure IV.15 : Résultats subjectifs du filtrage par trois familles d'ondelettes pour 3 images bruitées par trois bruits simultanément. ....	58
Figure IV.16 : Etude subjective de l'efficacité des cinq filtres sur un bruit aléatoire.....	61
Figure II.17 : Comparaison entre le filtre median et le filtre d'ondelette mère de Discret Meyer. ....	62

# *Liste des tableaux*

## *Liste des Tableaux*

Tableau IV.1 : Résultats de filtrage par trois masques median d'une image photographique bruitée par 3 types de bruits. ....	42
Tableau IV.2 : Résultats de filtre de Nagao d'une image photographique bruité par 3 bruits. ....	44
Tableau IV.3 : Résultats de filtrage par trois masques Gaussien d'une image photographique bruitée par 3 bruits. ....	45
Tableau IV.4 : Résultats de filtrage par trois masques Wiener d'une image photographique bruitée par les 3 bruits. ....	46
Tableau IV.5 : Résultats de filtrage par trois familles d'ondelette d'une image photographique bruitée par les 3 bruits. ....	48
Tableau IV.6 : Comparaison entre les résultats des filtres de meilleures performances sur l'image Lena bruitée par le bruit Sel et Poivre. ....	49
Tableau IV.7 : Comparaison entre les résultats des filtres de meilleures performances sur l'image Lena bruitée par le bruit gaussien. ....	50
Tableau IV.8 : Comparaison entre les résultats des filtres de meilleures performances sur l'image Lena bruitée par le bruit speckle. ....	51
Tableau IV.9 : Résultats de filtrage par trois masques median pour 3 images bruitées par trois bruits simultanément. ....	53
Tableau IV.10 : Résultats du filtre de Nagao sur 3 images bruitées par trois bruits simultanément. ....	54
Tableau IV.11 : Résultats du filtrage par trois masques Gaussien pour 3 images bruitées par trois bruits simultanément. ....	55
Tableau IV.12 : Résultats du filtrage par trois masques Wiener pour 3 images bruitées par trois bruits simultanément. ....	56
Tableau IV.13 : Résultats du filtrage par trois familles d'ondelettes pour 3 images bruitées par trois bruits simultanément. ....	57
Tableau IV.14 : Mesures de qualités de l'image de Lena bruitée par un bruit aléatoire de $\sigma=0.2$ . ....	60

Tableau IV.15 : Mesure de la qualité du filtrage de l'image Lena bruitée par un bruit aléatoire en utilisant 4 filtres avec trois masques.....61

Tableau IV.16 : Mesure de la qualité du filtrage par ondelettes sur l'image Lena bruitée par un bruit aléatoire utilisant trois masques. ....61

*Introduction*

*générale*

### Introduction générale

La dernière décennie a connu une large prolifération des données numériques de tous types (images, vidéos, maillage ‘Disposition en réseau’, mesures, etc.) grâce aux progrès technologiques. Ces données sont souvent bruitées ou de grandes dimensions. Les traitements de ces données, tels que le débruitage, l’interpolation ou l’organisation, visant à en extraire la connaissance est un vrai défi pour les communautés de traitement d’images et d’apprentissage.

Même avec les technologies les plus récentes cependant, il existe de nombreuses situations où les dégradations de la scène originale sont trop importantes pour l’application visée. Ceci peut être dû, par exemple, aux conditions difficiles d’acquisition rencontrées en imagerie médicale, en astronomie ou dans le domaine militaire entre autres. Lorsqu’il est impossible d’améliorer le capteur, soit pour des raisons de coût, soit à cause de limites physique, le filtrage des images devient nécessaire pour améliorer la qualité visuelle de celles-ci, aussi pour augmenter les performances des traitements ultérieurs.

Le traitement d’image est un domaine très vaste. En effet, on peut parler de restauration, de compression ou encore de modification, mais l’amélioration de l’image est essentiellement obtenue par ce que l’on appelle une opération de *filtrage*.

Le filtrage est une approche qui sert à améliorer toute image acquise, créée, traitée ou stockée sous forme de codes soit en binaire (suit de 0 et de 1), soit en valeurs numériques.

Le bruit d’image est la présence d’information parasite dans une image, et pour supprimer cette information dérangeante nous appliquons le filtrage.

Notre travail consiste à appliquer plusieurs types de filtres, à savoir, le filtre Médian, le filtre de Nagao, le filtre Gaussien, le filtre Wiener, et le filtre par Ondelettes. Ces filtres sont appliqués sur des images bruitées de différentes natures : photographiques, médicales et satellitaires. Les performances des méthodes utilisées sont évaluées avec des mesures statistiques telles que SNR, PSNR, MSE, et le temps de calcul. Ces paramètres sont employés pour calculer les caractéristiques et la qualité des images filtrées par rapport à l’image originale.

Les résultats obtenus à partir des mesures statistiques sont employés à l'étude comparative et également employés pour déterminer le filtre le plus adapté à un type particulier d'image. Enfin le meilleur filtre basé sur les résultats statistiques est proposé.

Nous avons structuré notre mémoire comme suit :

- Dans le premier chapitre, des notions élémentaires sur le traitement d'image sont présentées.
- Le deuxième chapitre, présente les différents sources et types de bruits qui affectent la qualité d'image, ainsi que les mesures de sa qualité.
- Le troisième chapitre, est consacré aux méthodes de filtrage.
- Enfin le quatrième chapitre, est dédié aux résultats expérimentaux et interprétations.

# ***CHAPITRE I:***

## *Généralités sur l'image*

## I.1. Introduction

L'image constitue l'un des moyens les plus importants qu'utilise l'homme pour communiquer avec autrui. C'est un moyen de communication universel dont la richesse du contenu permet aux êtres humains de tout âge et de toute culture de se comprendre.

Les images sont les principales sources d'information dans de nombreuses applications, et constituent un moyen important et très utile dans tous les domaines, chacun peut analyser l'image à sa manière, pour extraire des informations précises.

## I.2. Généralités sur le traitement d'images

Le traitement d'images désigne un ensemble de méthodes dont l'objectif est soit de transformer des images « Par exemple pour en améliorer l'apparence », soit d'en extraire de l'information « Par exemple lorsqu'il s'agit de reconnaître la forme d'une nappe de pétrole en mer », il s'agit donc d'un domaine très vaste, qui trouve de plus en plus d'applications [1].

### I.2.1. Définitions

Il est important de définir quelques notions élémentaires relatives à ce domaine, afin d'entamer les différentes techniques de traitement d'images concernant notre travail.

L'image numérique peut être vue comme une matrice « Tableau rectangulaire », chaque élément de la matrice étant appelé pixel, abréviation de « *picture element* » [2]. Il existe quatre types d'image :

- Images binaires.
- Images d'intensités.
- Image couleur RGB.
- Image couleur indexée.

#### I.2.1.1. Image binaire

Une image binaire est une matrice rectangulaire dont les éléments valent 0 ou 1. Bien qu'il n'y ait que deux valeurs possibles. Lorsque l'on visualise une telle image, les 0 sont représentés par du noir et les 1 par du blanc (figure I.1).

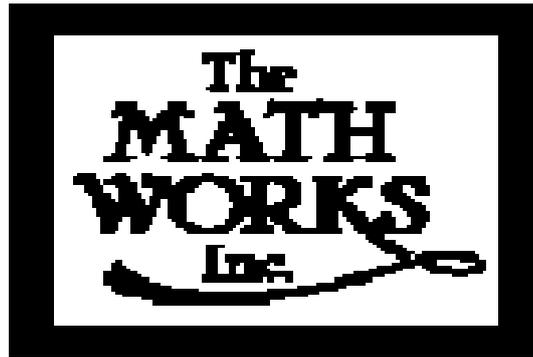


Figure I.1 : Image binaire

### I.2.1.2. Image d'intensités

Une image d'intensités appelée aussi image d'intensité de luminance est une matrice dans laquelle chaque élément est un réel compris entre 0 « *Noir* » et 1 « *Blanc* » [1]. On parle aussi d'image en niveaux de gris, car les valeurs comprises entre 0 et 1 représentent les différents niveaux de gris. Par exemple, 0.2 représente un gris foncé et 0.8 un gris clair.

### I.2.1.3. Image couleur RGB

On peut synthétiser les couleurs perceptibles par l'œil humain en superposant 3 couleurs de base « En général, on choisit le rouge, le vert, et le bleu, mais on peut réaliser la synthèse à l'aide d'autres ensembles de trois couleurs ». La fabrication de la couleur en télévision, ou sur un écran d'ordinateur, est donc directement liée à la structure du système visuel humain.

Pour représenter la couleur d'un pixel il faut donner 3 nombres, qui correspondent au dosage de 3 couleurs de base : rouge, vert et bleu « en anglais, RGB : Red, Green, Blue ». On peut ainsi représenter une image par trois matrices, chaque matrice correspondant à une couleur de base.

### I.2.1.4. Image couleur indexée

La manière la plus naturelle de représenter une image couleur consiste à utiliser trois matrices. Toutefois, pour de grandes images, ceci conduit à l'occupation d'un espace mémoire important, la représentation indexée ne permet de représenter qu'un nombre limité de couleurs. Ces couleurs sont mémorisées dans une table de couleur « *COLORMAP* » qui est une matrice de  $n \times 3$  « Ou  $n$  est le nombre de couleurs ». L'image est alors une matrice contenant des nombres entiers compris entre 1 et  $n$ , chaque entier jouant le rôle d'un index relatif à la table de couleurs.

## I.2.2. Les formats d'images numériques

Deux types d'images sont utilisés en informatique :

### I.2.2.1. Les images matricielles (bitmap)

Une image matricielle (ou bitmap) est une image constituée d'un ensemble de points : les pixels. Chaque point porte des informations de position et de couleur.

Format d'images bitmap : BMP, PCX, GIF, JPEG, TIFF

Les photos numériques et les images scannées sont de ce type.

### I.2.2.1. Les images vectorielles

Les images vectorielles sont composées de formes géométriques qui vont pouvoir être décrites d'un point de vue mathématique. Par exemple une droite sera définie par 2 points, un cercle par un centre et un rayon. Le processeur est chargé de "traduire" ces formes en informations interprétables par la carte graphique (images Word, Publisher, CorelDraw - format WMF, CGM, etc.).

*Les avantages* : les fichiers qui la composent sont petits, les redimensionnements sont faciles et sans perte de qualité.

*Les inconvénients* : une image vectorielle ne permet de représenter que des formes simples. Elle n'est pas donc utilisable pour la photographie notamment pour obtenir des photos réalistes [3].

## I.2.3. Caractéristiques de l'image numérique

### I.2.3.1. Pixel

Le pixel constitue le plus petit élément de l'image. Ainsi, une image numérique est représentée par une matrice de dimension  $(m \times n)$  dont les éléments sont appelés pixels « *picture element* ».

La valeur de chaque pixel représente une couleur considérée dans l'image. Les pixels sont répartis régulièrement en lignes et en colonnes [4] [5]. Voir la figure I.2.

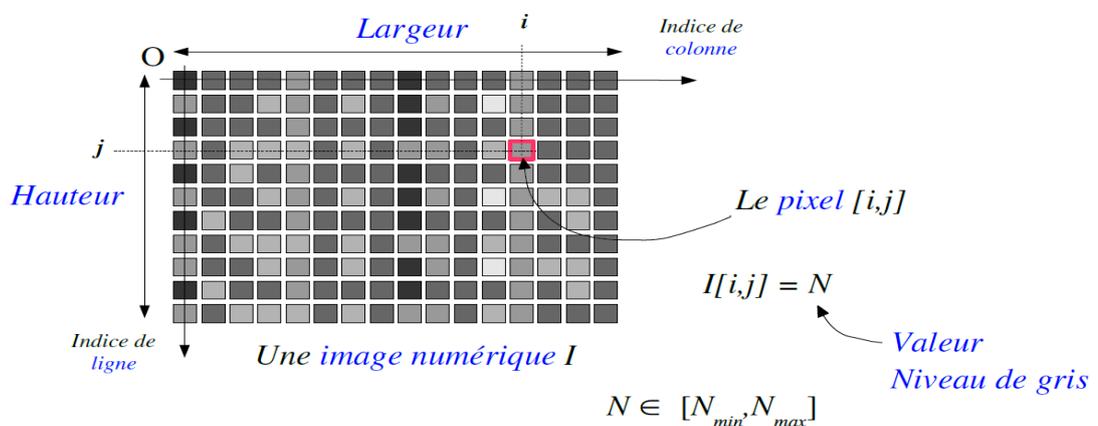


Figure I.2 : Représentation des pixels dans une image

### **I.2.3.2. Bruit**

La variation soudaine d'un pixel par rapport à ses voisins est un phénomène qu'on appelle bruit. Ce dernier peut provenir de l'éclairage, des dispositifs électroniques du capteur, voir même de l'image [6].

### **I.2.3.3. Contour et texture**

Les contours constituent une information essentielle pour certaines applications de traitement d'image. En particulier, les contours d'un objet permettent en générale de caractériser sa forme. La détection de contours peut être réalisée grâce à des filtres dont les coefficients ont été soigneusement choisis [1].

Les textures décrivent la structure, donc l'extraction du contour consiste à identifier dans l'image les points qui séparent deux textures différentes.

### **I.2.3.4. Codage ou niveaux de gris**

Le codage n'est qu'une valeur numérique correspondant à la quantification de l'intensité du niveau de gris de chaque pixel.

Ceci peut être interprété par la décomposition de la luminosité de l'image en 2 plages couramment appelées niveaux de gris, ceci étant le nombre de bits utilisés pour le codage. Les systèmes classiques codent les images sur 256 niveaux de gris l'équivalent de 8 bits « Tels que 0 pour le noir et 255 pour le blanc, autrement dit il suffit d'un bit pour coder un point de l'image (pixel)».

D'autres systèmes conçus pour des applications compliquées ou spécifiques arrivent à coder sur 12 voire 14 bits de niveaux de gris. Ces derniers sont souvent très coûteux [6].

## **I.2.4. Histogramme**

L'histogramme peut être considéré comme une densité de probabilité des niveaux de gris de l'image. Pour le calcul d'un histogramme, on donne un nombre de niveaux de quantification et, pour chaque niveau, on compte le nombre de pixels de l'image correspondant à ce niveau [1].

L'histogramme permet de donner un grand nombre d'informations sur la distribution des niveaux de gris de l'image, ou ce qu'on appelle « *La dynamique de l'image* ». Il permet de voir entre quelles bornes est répartie la majorité des niveaux de gris dans le cas d'une image trop claire ou trop foncée [4], comme le montrent les Figure I.3 et I.4.

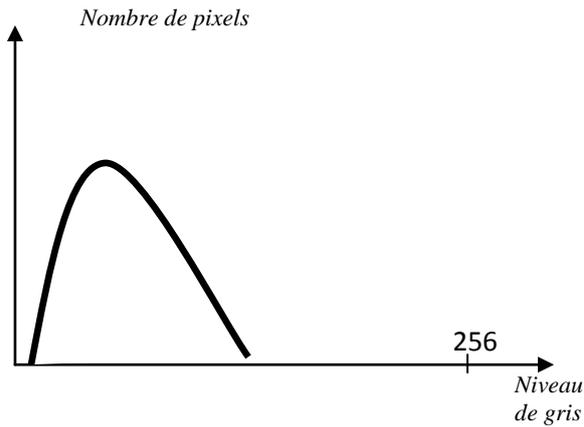


Figure I.3 : Histogramme d'une image sombre [1].

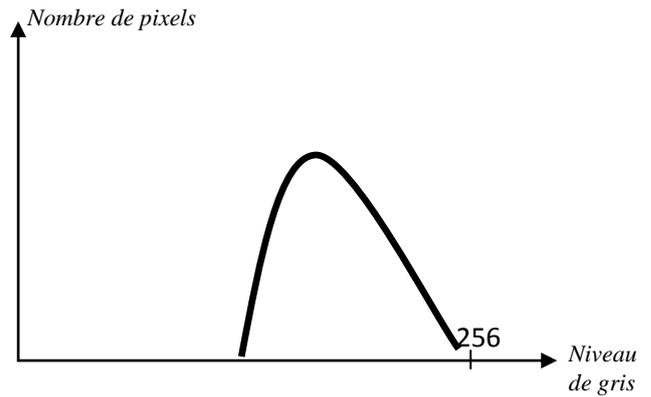


Figure I.4 : Histogramme d'une image claire [1].

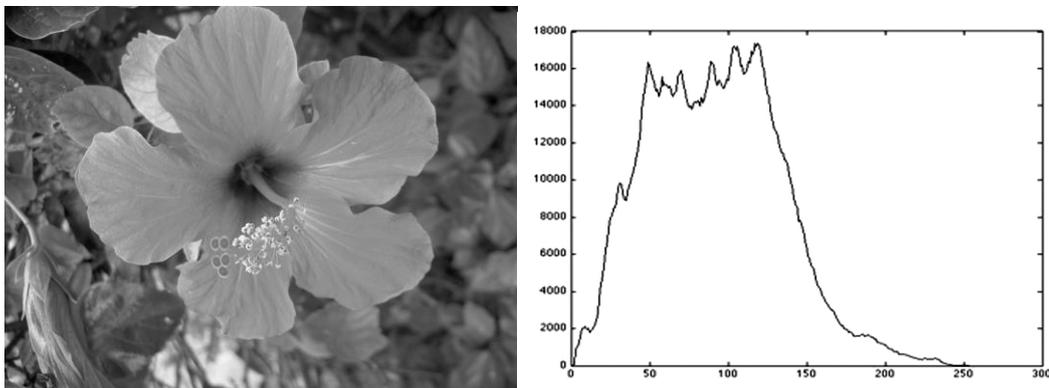


Figure I.5 : Histogramme de l'hibiscus.

L'histogramme donne une indication de la dynamique de l'image (répartition des niveaux de gris) mais n'est, en aucun cas, une caractéristique de l'image [7], donc on peut arriver à un seul histogramme des différentes images comme indiqué dans la figure suivante.

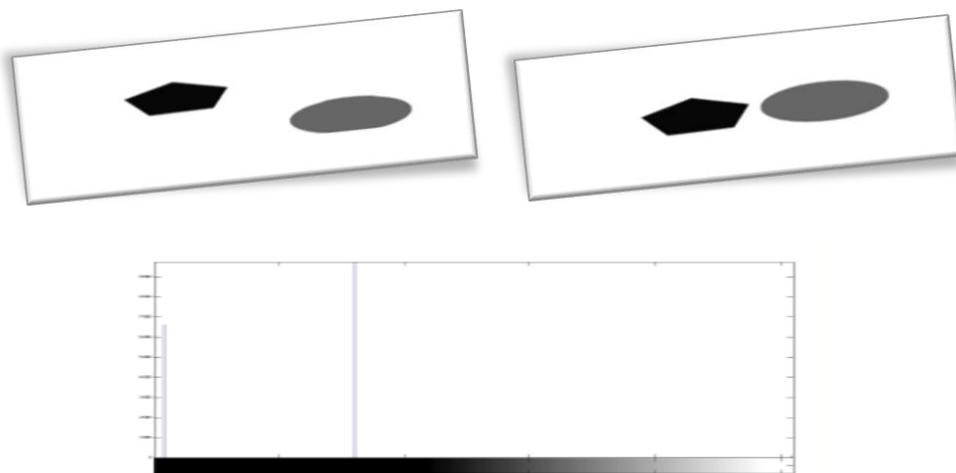


Figure I.6 : Deux images différentes peuvent avoir le même histogramme [7].

### I.2.5. Obtention des données images

Afin de rendre une image utilisable par l'ordinateur, il est nécessaire d'effectuer une transformation, grâce à une procédure de numérisation qui consiste à transformer l'image de base en une mosaïque de points et les convertir en nombre binaire traitable par le système informatique « *Ordinateur* » [6].

✓ Numériser une image consiste à transformer celle-ci de son état analogique (sous forme d'un signal continu) vers l'état numérique.

Cette opération se déroule en trois étapes :

#### ➤ Echantillonnage

L'échantillonnage d'un signal (une dimension ou deux dimensions (cas d'image) c'est le prélèvement des échantillons de ce même signal à des instants multiples de la période d'échantillonnage  $N T_e$  (Figure I.7).



Figure I.7 : Echantillonnage d'une image.

#### ➤ Quantification

Elle consiste à affecter une valeur numérique à chaque échantillon. la quantification peut être monochrome ou couleur (figure I.8).



Figure I.8 : Quantification d'une image.

### ➤ Codage

Le codage est une opération qui consiste à donner à chaque pixel de l'image un code qui représente une information complémentaire : sa couleur et sa précision. Ceci afin d'optimiser son stockage ou sa transmission.

### I.2.6. Binarisation d'images

La binarisation est une opération qui consiste à transformer une image codée en 2, 4, 8 bit ou plus en une image codée en 1 bit. Elle produit des images « noir et blanc », il est nécessaire de procéder à un seuillage [8].

Le seuillage consiste à affecter le niveau 255 au pixel supérieur à un seuil  $S$  et le niveau zéro aux autres.

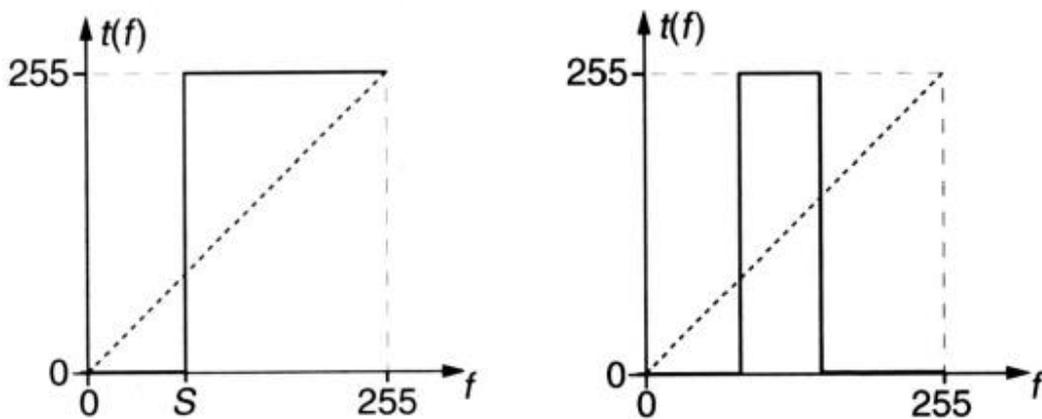
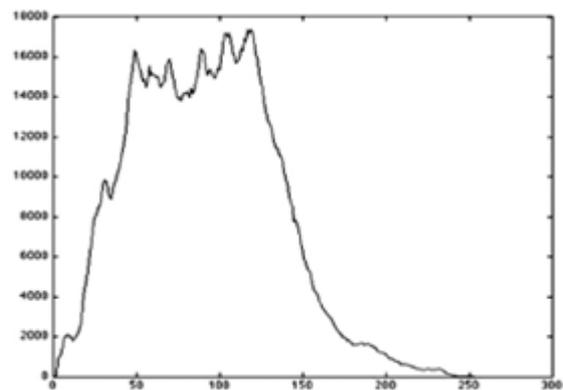


Figure I.9 : Fonctions de seuillage [7].



(a)



(b)

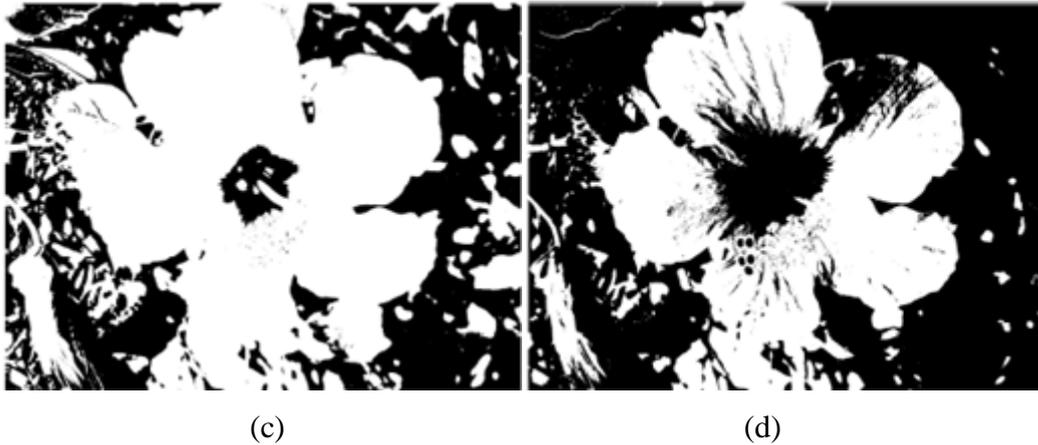


Figure I.10 : (a) image originale, (b) Histogramme, (c) Image seuillée avec fenetre d'intensité entre 30 et 100, (d) Seuillage à  $S=100$ .

### I.3. Conclusion

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés aux généralités sur le traitement d'images. Nous avons présenté les concepts les plus importants liés au domaine du traitement d'images. Les différentes définitions qui y sont développées sont celles des connaissances élémentaires de cette discipline mais quand bien même elles seraient essentielles pour l'initiation aux traitements approfondis des images.

# ***CHAPITRE II:***

## *Modélisation du bruit*

## II.1. Introduction

Lors de l'acquisition, de la transmission ou de la compression d'une image, il peut apparaître de nombreuses dégradations, ce qui génère une information parasite qui peut influencer sur l'image par la détériorer, nous appelons cette information par « le bruit ».

L'utilisation des images est très vaste, elles sont utilisées dans des différents domaines comme la médecine, l'industrie, la photographie...etc. Pour une meilleure utilisation il est très intéressant de connaître les types et les sources de bruit pour l'éviter ou le supprimer.

Dans ce chapitre nous intéressons à connaître les modèles, les types et les sources du bruit présent dans l'image, ainsi que les critères permettant d'analyser et étudier les images.

## II.2. Modèles de bruits de l'image

A chaque étape de l'acquisition d'une scène, des perturbations (rayures, poussières, caméra, amplification, quantification) vont détériorer la qualité de l'image. Ces perturbations sont regroupées sous le nom de "bruit d'image"[9]. On distingue en général deux types de bruit :

- ✓ Bruit additive.
- ✓ Bruit multiplicatif.

### II.2.1. bruit additif

Le bruit additif peut être défini de la façon suivante : Soit image non bruitée  $R$  et  $I$  la même image avec un bruit additif  $A$ . Chaque pixel  $j$  est caractérisé par la relation:

$$I_j = A_j + R_j \quad (II.1)$$

Où  $A_j$  est une variable aléatoire de moyenne égale à 0 [10].

### II.2.1. bruit multiplicatif

Le bruit multiplicatif se définit de façon analogue : Soit une image non bruitée  $R$  et  $I$  la même image avec un bruit multiplicatif  $A$ . Chaque pixel  $j$  est caractérisé par la relation:

$$I_j = A_j \cdot R_j \quad (II.2)$$

Les figures II.1 et II.2 représentent les variations de l'écart type local en fonction de la moyenne locale obtenues sur une image dégradée artificiellement par, un bruit additif centrée et d'écart type 10 et un bruit multiplicatif de moyenne unité et d'écart type 0.2, respectivement [10].

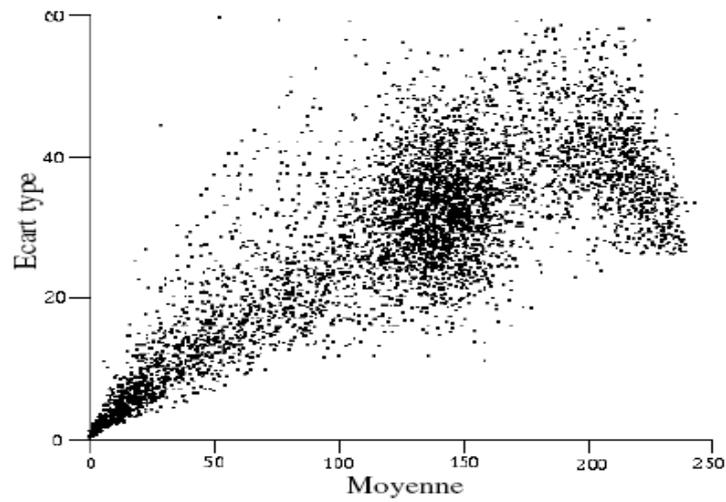


Figure II.1 : Evolution de l'écart type en fonction de la moyenne ; cas d'une image dégradée par un bruit additif [11].

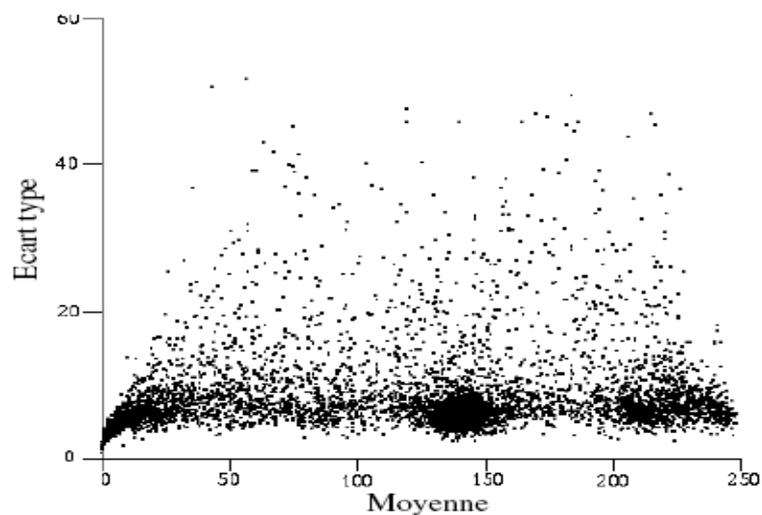


Figure II.2 : Evolution de l'écart type en fonction de la moyenne ; cas d'une image dégradée par un bruit multiplicatif [11].

### II.3. Sources de bruit

Les sources de bruit d'une image sont nombreuses et diverses, nous les citons ci-dessous:

### **II.3.1. Bruit lié au contexte de l'acquisition**

Une sur ou sous illumination réduit l'intervalle de couleurs de la scène mais pas son nombre. Par ailleurs, le nombre de couleur utilisée pour représenter cette scène sera réduit dans le cas d'un appareil photo numérique. Parmi les bruits liés au contexte de l'acquisition, on peut également citer la perturbation des capteurs, par exemple des perturbations magnétiques pendant une acquisition IRM, ou une perturbation sur une antenne de télévision lors de la réception sur une carte tuner [12].

### **II.3.2. Bruit lié à 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, ou de bruit poivre et sel lorsque des objets de la scène sont projetés dans une image de la taille d'un pixel [13].

### **II.3.3. Bruit lié à la nature de la scène**

L'environnement dans lequel se situe l'acquisition n'est pas toujours maîtrisable. En télédétection, la couverture nuageuse dégrade la qualité des images satellites. Pour une échographie cardiaque, la masse graisseuse du patient peut induire des artefacts.

### **II.3.4. Problèmes de transmission**

C'est un cas fréquent en astronomie ou en aérospatial. Le signal ou l'image est difficile à capter et donc le récepteur terrestre n'en reçoit qu'une partie [14].

### **II.3.5. Problèmes de compression**

Le récepteur ne reçoit pas le signal direct, mais une version comprimée pour une meilleure transmission du signal. Un bon exemple pour les utilisateurs d'Internet est le téléchargement des images en JPEG. Le format de compression JPEG, et plus précisément la version 2000, est basée sur un traitement en ondelettes pour alléger la taille des images sur le réseau. En général, les méthodes populaires de compression se font avec perte d'information, et comportent souvent des artefacts visibles [14].

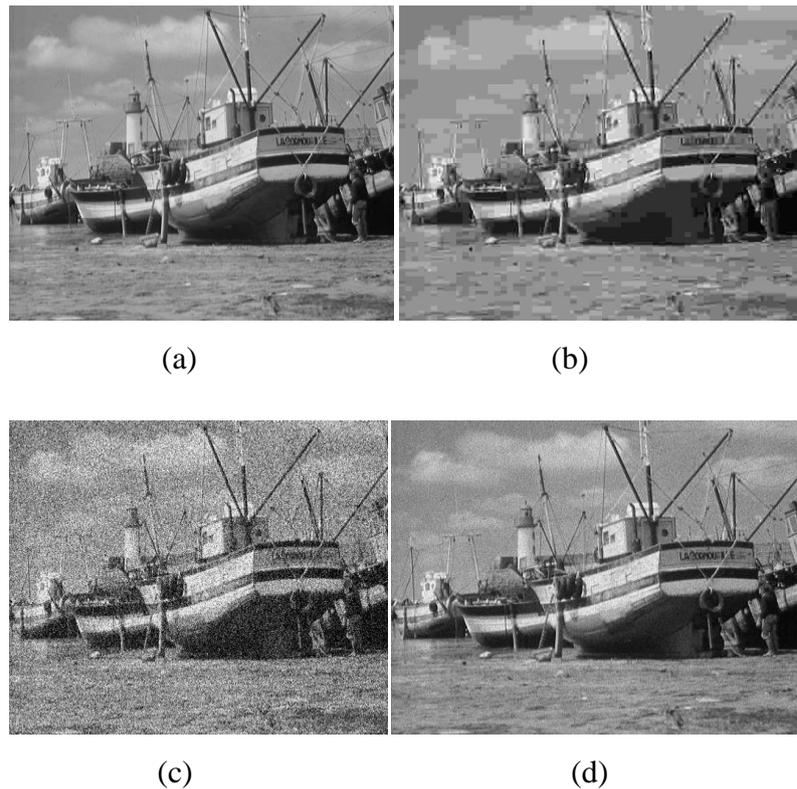


Figure II.3 : (a) Image originale, (b) image compressée en JPEG (5%), (c) image dégradée par un bruit gaussien ( $\sigma = 20$ ) et (d) image dégradée par un bruit poissonien [14].

## II.4. Types de bruit

### II.4.1. Bruit de Poisson

Le bruit de Poisson ou le bruit de projectile est un type de bruit électronique qui se produit quand le nombre fini de particules qui portent l'énergie, telle que des électrons dans un circuit électronique ou des photons dans un circuit optique, est assez petit pour provoquer des fluctuations statistiques discernables dans une mesure [15]. Le nombre de photons mesurés par un photosite est aléatoire et dépend de l'illumination. Si un photosite mesure en moyenne  $\lambda$  photons, alors on est en présence d'un processus de Poisson de moyenne  $\lambda$  et de densité de probabilité.

$$\forall m, n \quad z(m, n) \sim p(\lambda) \quad \text{où } \lambda = f(m, n) \quad (II.3)$$

### II.4.2. Bruit d'amplificateur (bruit gaussien)

Le modèle standard du bruit d'amplificateur est additif, gaussien, indépendant à chaque pixel et indépendant des caméras couleur du signal ou d'image d'intensité. Le bruit gaussien a une fonction de densité de probabilité (pdf) de la distribution normale.

Le pdf du bruit gaussien est montré dans l'équation (II.3) et la figure (II.4) [16] :

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (II.4)$$

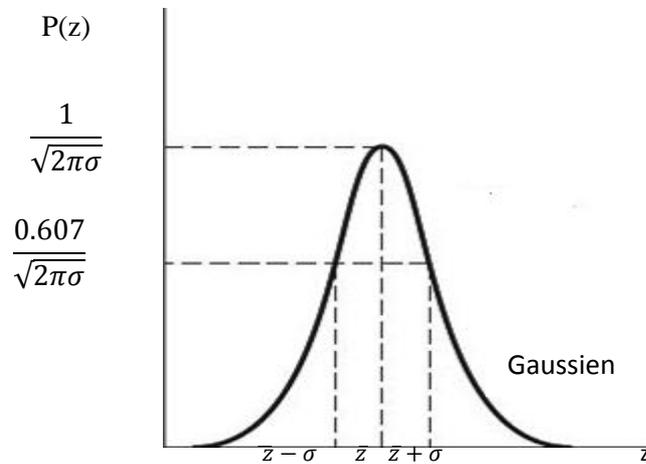


Figure II.4 : PDF du bruit gaussien [16].

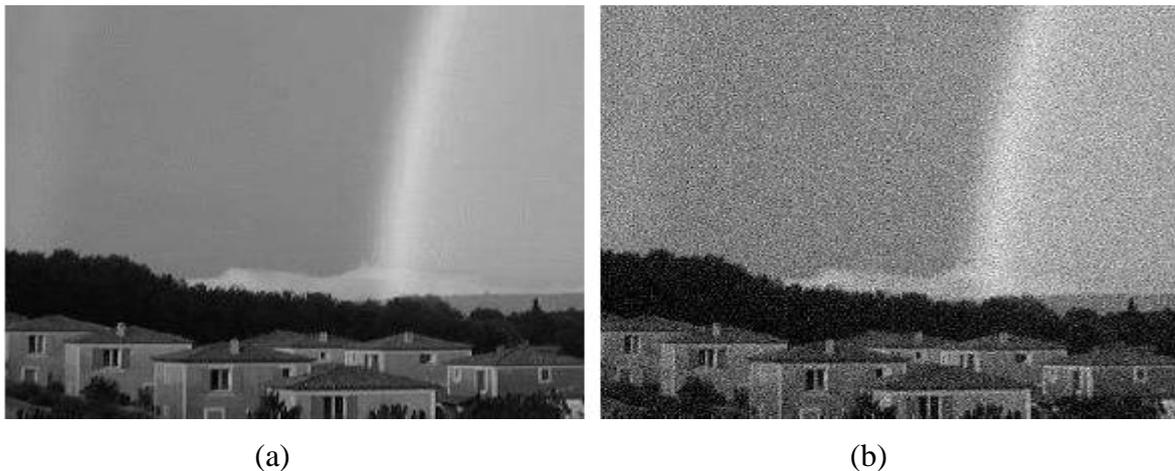


Figure II.5 : (a) image originale. (b) image bruitée par un bruit blanc additif de  $\sigma=16$  [12].

### II.4.3. Bruit de tache (Speckle)

Le phénomène de Speckle ; "chatoiement" dans les images radar, ou tavelure (en astronomie) ou granularité (en optique) et *Speckle* en anglais fut constaté la première fois en 1960, lors d'expérience d'illumination d'objets avec une source de lumière cohérente, le laser. La granularité détectée n'avait pas une relation simple avec les propriétés macroscopiques de l'objet. Tandis que le bruit gaussien peut être modélé par des valeurs aléatoires sur une image; le bruit de Speckle (voir figure II.6) peut être modélé par des valeurs aléatoires multipliées par les

valeurs de Pixels, par conséquent il s'appelle également le bruit multiplicatif. Le bruit de Speckle est un problème important dans quelques applications de radar et d'échographie [17].

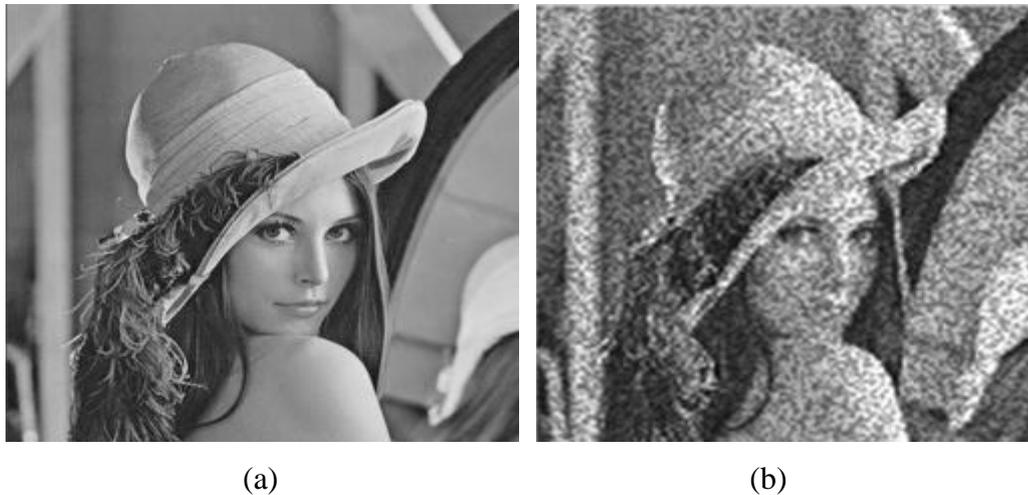


Figure II.6 : (a) image originale, (b) image représentée bruit de Speckle [16].

#### II.4.4. Bruit sel et poivre

Ce type contient des occurrences aléatoires des valeurs d'intensité de noir et de blanc, et souvent causé par le seuil de l'image bruitée [18].

Le bruit de distribution du bruit « sel et poivre » peut être exprimé par:

$$p(x) = \begin{cases} p_a & x = a \\ p_b & x = b \\ 0 & \text{Ailleurs} \end{cases} \quad (II.5)$$

Où  $P_a$ ,  $P_b$  sont les fonctions de densité de probabilités (pdf),  $p(x)$  est la distribution du bruit « sel et poivre » dans l'image.

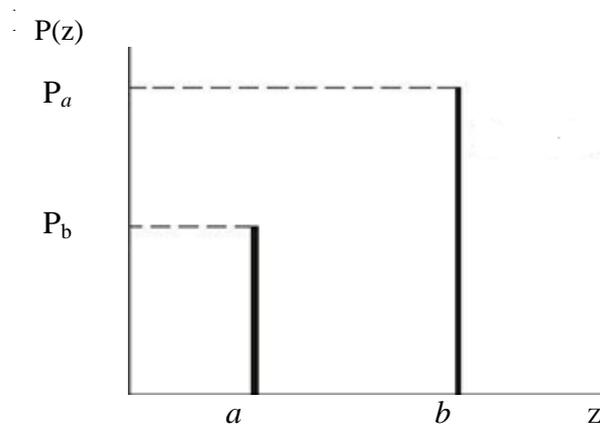


Figure II.7 : PDF du bruit poivre et sel [16].

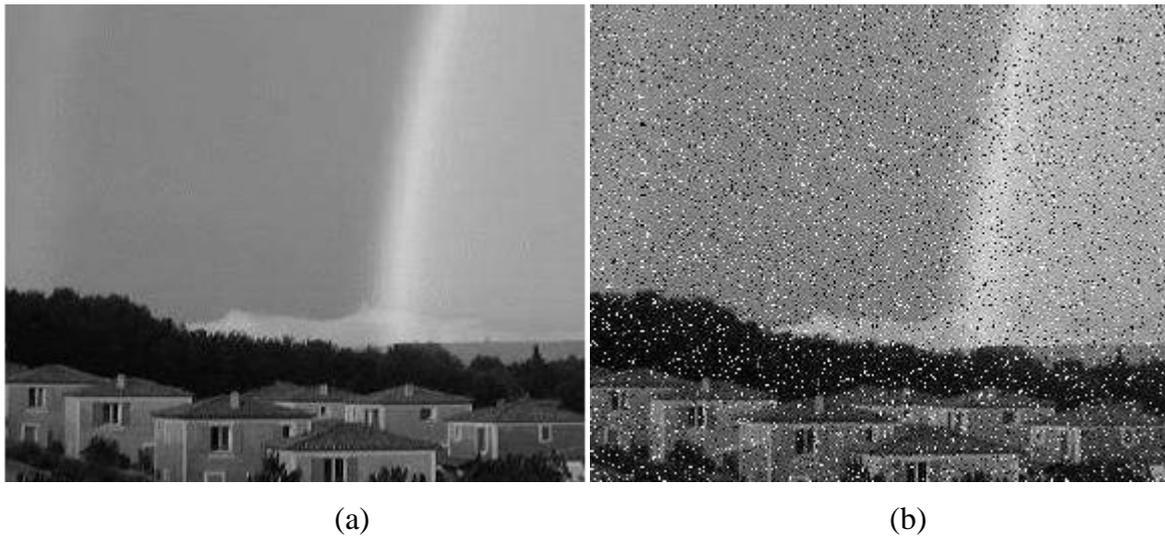


Figure II.8 : (a) image originale, (b) image bruitée par un bruit sel et poivre de 10% [12].

#### II.4.5. Bruit thermique

Le bruit thermique est dû à l'agitation naturelle des électrons, qui augmente avec la température du capteur. Ce phénomène est appelé courant d'obscurité. Les fabricants de cameras les quantifient par le nombre d'électrons. Sur des appareils fixes de laboratoire ou de studios professionnels, ce bruit peut être réduit efficacement par refroidissement du capteur. Sur les appareils-photos grand public, les fabricants réduisent l'impact de ce bruit en ajoutant un filtre infrarouge juste devant le capteur, ce qui limite l'agitation électronique [7].

#### II.4.6. Bruit Gamma

Ce type de bruit peut être obtenu par un filtrage passe-bas des images basées par laser [19]. Le pdf, du bruit gamma est donné ci-dessous:

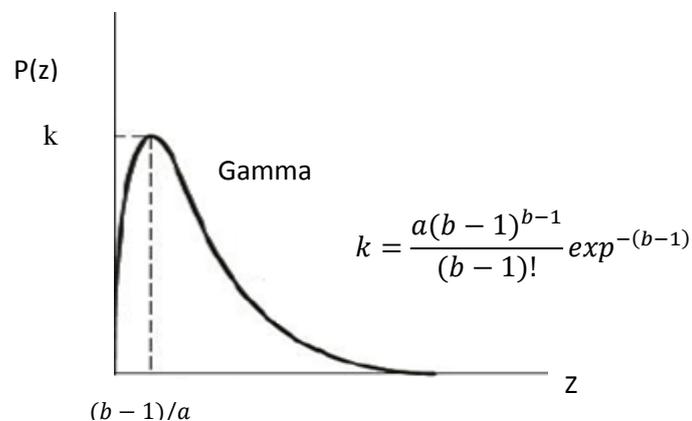


Figure II.9 : PDF de bruit Gamma [16].



Figure II.10 : (a) image originale, (b) image bruitée par un bruit gamma [16].

#### **II.4.7. Bruit périodique**

Un bruit périodique est un bruit qui se répète de la même manière à plusieurs endroits dans une image avec une certaine période. La source est par exemple le tramage dû à un scannage papier par exemple [20].

#### **II.4.8. Bruit numérique**

C'est un bruit affectant les images numériques. On distingue en général deux types de bruit d'image qui s'accumulent (Figure II.11) [21].

##### **II.4.8.1. Bruit de chrominance**

C'est la composante colorée des pixels bruités : il est visible sous la forme de taches de couleurs aléatoires.

##### **II.4.8.2. Bruit de luminance**

C'est la composante lumineuse des pixels bruités : il est visible sous la forme de taches plus foncées ou plus claires donnant un aspect granuleux à l'image.

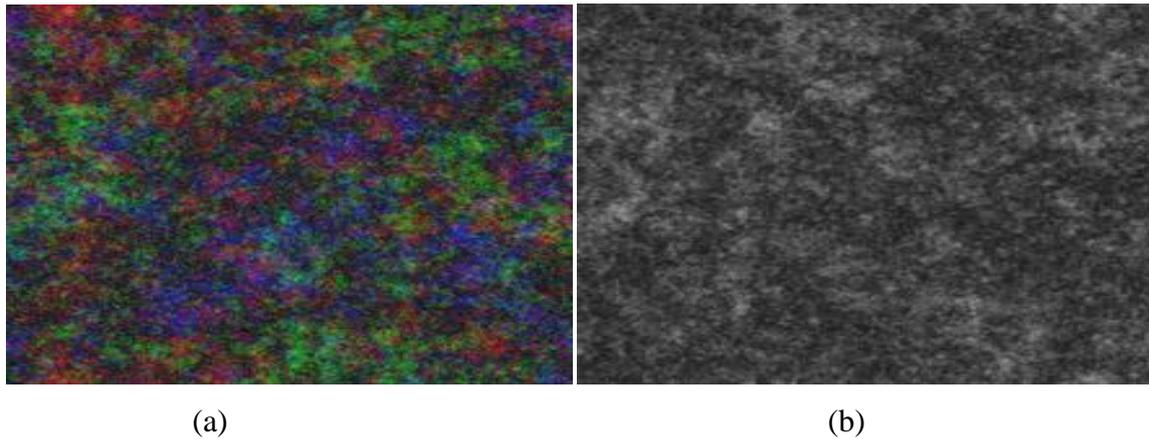


Figure II.11 : (a) bruit de chrominance, (b) bruit de luminance.

### II.4.9. Flou

En photographie le flou de bougé peut avoir plusieurs origines :

- ✚ le déplacement du photographe s'il est en mouvement.
- ✚ l'instabilité du photographe sur ses appuis s'il est par ailleurs immobile dans l'espace.
- ✚ les tremblements naturels de la main qui soutient l'appareil si le photographe est en revanche complètement stable sur ses appuis.
- ✚ le mouvement de l'appareil du fait de la pression sur le déclencheur s'il n'est pas tenu à la main mais installé sur un support fixe tel qu'un trépied.

Enfin le flou est souvent dû à une mauvaise focalisation. Dans le cas de l'œil, on parle plutôt d'accommodation, mais le phénomène est similaire pour un appareil d'acquisition. Lorsque notre regard se porte sur un objet lointain, nous le voyons net [7].

L'image observée (figure II.12), est dégradée par un filtre convolutif.



Figure II.12 : Exemple sur le flou d'image (flou de mouvement) [17].

## II.5. Mesures de bruit

### II.5.1. Erreur quadratique moyenne (MSE)

L'image dégradée  $\hat{I}$  est toujours comparée à l'originale  $I$  pour déterminer son rapport de ressemblance. Ce critère est le plus utilisé. Il est basé sur la mesure de l'erreur quadratique moyenne (MSE) calculée entre les pixels originaux et dégradés:

$$MSE = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (I(m,n) - \hat{I}(m,n))^2 \quad (II.7)$$

Où  $(M \times N)$  est la taille de l'image, et  $I_p$  et  $\hat{I}_p$  sont respectivement les amplitudes des pixels sur les images originale et dégradée. Il est vraisemblable que l'œil tienne beaucoup plus compte des erreurs à grandes amplitudes, ce qui favorise la mesure quadratique Moyenne [17].

### II.5.2. 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:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{I_{max}^2}{MSE} \right) \quad (II.8)$$

Pour une image à niveau de gris,  $I_{max}$  désigne la luminance maximale possible. Une valeur de PSNR infini correspond à une image non dégradée. Et cette valeur décroît en fonction de la dégradation. Le PSNR relie donc le MSE à l'énergie maximale de l'image [17].

### II.5.3. Rapport signal sur bruit (SNR)

Le SNR compare le niveau du signal désiré au niveau du bruit de fond. Plus le SNR est élevé, et plus le bruit est faible dans l'image, et vice versa. L'expression de SNR est donnée dans la formule (II.9) :

$$SNR = 10 \log(\sigma_g^2 / \sigma_e^2) \quad (II.9)$$

$\sigma_g$  est la variance de l'image originale et  $\sigma_e$  est la variance de l'erreur entre l'image originale et l'image bruitée [22, 23].

## **II.6. Conclusion**

Le bruit est une information indésirée qui pose un risque de perdre du contenu de l'image.

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents types de bruits, avec leurs modèles, et leurs sources, ainsi que les critères utilisés pour étudier les dégradations d'une image.

Dans le chapitre suivant nous présentons les méthodes utilisées pour supprimer le bruit d'image avec une préservation des données utiles.

# ***CHAPITRE III:***

## *Filtrage des images*

### III.1. Introduction

Une image dégradée peut avoir un impact négatif sur son interprétation par l'œil humain ainsi que sur ces utilisations dans des différents domaines. Pour supprimer l'information parasite que contient l'image, nous appliquons une opération appelée « le filtrage ».

Le filtrage est une approche qui consiste à éliminer la présence d'information parasite qui s'ajoute de façon aléatoire à l'image, ce qui conduit à améliorer sa qualité. Comme nous pouvons dire, le filtrage est une opération fondamentale en traitement d'image, il permet d'améliorer la perception de certains détails, de réduire le bruit, de compenser certains défauts du capteur, etc...

Dans ce chapitre nous nous intéressons avant tout aux généralités sur les catégories de filtrage, puis nous étudions les filtres utilisés dans notre travail.

### III.2. Filtrage

Le transfert de l'image depuis l'objet jusqu'à la mémoire se produit avec un certain bruit. Celui-ci est dû en particulier aux imperfections de la source qui active l'image, au capteur proprement dit « *Caméra, radar, satellite...etc.* » et enfin à toute l'électronique de transfert [24].

**Amélioration par filtrage** : l'amélioration des images est essentiellement obtenue par filtrage, qui consiste soit à atténuer le bruit indésirable, soit à accentuer les contours.

Il existe trois catégories de filtrages :

- Filtrage morphologique.
- Filtrage linéaire.
- Filtrage adaptatif.

#### III.2.1. Filtrage morphologique

Le concept de filtrage morphologique fait appel à des notions mathématiques morphologiques qui sont des transformations de type « *Tout ou rien* ». Ils sont conçus pour être appliqués directement sur des images numériques. Ils sont développés à base d'ouverture et de fermeture « *Morphologique* » qui font appel aux notions de « *Dilatation* » et « *Erosion* ».

### III.2.2. Filtrage linéaire

Le filtrage linéaire est la convolution d'une image  $I(x, y)$  avec une fonction  $f(x, y)$  qui s'appelle réponse impulsionnelles du filtre. Dans le cas continu, l'image filtrée est donnée par (III. 1) :

$$I(x, u) = (f * I)(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x', y') \cdot I(x - x', y - y') dx' dy' \quad (III. 1)$$

Dans le cas discret, les domaines de  $I$  et de  $f$  sont bornés.

Le domaine de  $I$  est  $[-\frac{N}{2}, +\frac{N}{2}]$  et le domaine de  $f$  est  $[-\frac{K}{2}, +\frac{K}{2}]$ .

On a nécessairement  $K \leq N$ ,  $N$  étant la taille de l'image. Dans le cas discret la convolution s'écrit par (II. 2) :

$$If(x, u) = (f * I)(x, y) = \sum_{i'=-\frac{K}{2}}^{+\frac{K}{2}} \sum_{j'=-\frac{N}{2}}^{+\frac{N}{2}} f(i - i', j - j') \cdot I(i', j') \quad (III. 2)$$

Le filtrage linéaire consiste donc à remplacer chaque niveau de gris par une combinaison linéaire des niveaux de gris des points voisins, les coefficients de cette combinaison linéaire sont définis par la réponse impulsionnelle du filtre.

L'utilisation des filtres linéaires provient de l'extension des méthodes mises au point pour le traitement du signal au traitement des images numériques [25]. Ceci est dû au fait qu'une image numérique est considérée comme un signal bidimensionnel numérisé. Il existe deux méthodes utilisées pour ce type de filtrage :

- Filtrage linéaire global « par filtrage fréquentiel ».
- Filtrage linéaire local.

#### III.2.2.1. Filtrage linéaire global

Dans le filtrage global, chaque pixel de la nouvelle image est calculé en prenant en compte la totalité des pixels de l'image de départ. Dans cette catégorie on trouve, par exemple, les opérations sur les histogrammes ou les opérations qui nécessitent de passer dans l'espace de Fourier.

### III.2.2.2. Filtrage linéaire local

Dans le filtrage local, chaque pixel de la nouvelle image est calculé en prenant en compte seulement un voisinage du pixel correspondant dans l'image d'origine. Il est d'usage de choisir un voisinage carré et symétrique autour du pixel considéré. Ces voisinages sont donc assimilables à des tableaux à deux dimensions (matrices) de taille impaire.

### III.2.3. Filtrage adaptatif

Les filtres adaptatifs peuvent être classés en deux catégories : les filtres d'ordre et les filtres de position.

Les filtres d'ordre classent les niveaux de gris d'un voisinage et sélectionnent parmi ces quantités une certaine valeur, les filtres de position considèrent des sous voisinages du point.

#### III.2.3.1. Filtres d'ordre

Les filtres d'ordre sont de deux types :

- Filtrage par la médiane « *Filtre median* ».
- Filtrage par le plus proche voisin radiométrique.
- **Filtrage par la médiane « filtre median »**

Le filtrage par la médiane est le filtre d'ordre le plus connu. Il produit un adoucissement de l'image puisque la valeur du point central d'une fenêtre est affectée par celle de ses voisins [4].

À la différence du filtre linéaire classique, on n'effectue pas une moyenne, mais on prend la valeur médiane, c'est-à-dire celle qui par classement en valeur croissante, se trouve au milieu.

**Exemple :**

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 \\ 3 & 4 & 2 \end{bmatrix} \text{ donne } (1 \quad 1 \quad 1 \quad 2 \rightarrow 2 \quad 3 \quad 3 \quad 4)$$

Dans ce cas, la valeur du point central devra être mise à 2.

- **Filtrage par le plus proche voisin radiométrique**

Pour ce type de filtrage, on attribue au pixel central la valeur moyenne des K pixels voisins dont les valeurs radiométriques « *Niveaux de gris* » sont les plus proches [26].

**Exemple :**

Pour  $K = 4$ , et en utilisant l'exemple précédant :

$$\frac{(2 + 2 + 3 + 4)}{4} \approx 3$$

Dans ce cas, le point central gardera sa valeur.

**III.2.3.2. Filtres de position**

Pour ce filtrage, on utilise des voisinages  $5 \times 5$ . Le sous voisinage le plus homogène est sélectionné et son niveau de gris moyen est affecté au point central.

**Exemple :**

$$\begin{bmatrix} 3 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ 3 & 4 & 3 & 6 & 7 \\ 3 & 3 & 4 & 8 & 3 \\ 9 & 2 & 3 & 2 & 1 \\ 8 & 5 & 3 & 2 & 6 \end{bmatrix}$$

La valeur du point central passera de 4 à 3.

Ce filtre présente l'inconvénient d'avoir recours à un voisinage très grand « *En nombre de pixels* », ce qui nécessite un temps d'exécution long. Pour cette raison, le filtre d'ordre est choisi.

**III.3. Méthodes de filtrage utilisés**

Les filtres linéaires sont réalisés par la convolution de l'image avec un noyau également appelé masque, ce dernier est sous forme d'une matrice carré ( $3 \times 3$  ou  $5 \times 5$  le plus souvent).

Les filtres non-linéaires sont utilisés pour réduire un bruit spécifique. Il s'agit encore une fois de remplacer la valeur de chaque pixel à partir des pixels voisins. En revanche, contrairement au filtrage linéaire, l'opération réalisée sur les pixels voisins est cette fois-ci non-linéaire.

Plusieurs types de filtres existent, nous avons choisi d'étudier les filtres suivants :

**III.3.1. Filtre median**

Le principe de ce filtre est de trier les pixels voisins par ordre croissant et de prendre la médiane (figure III.1) :

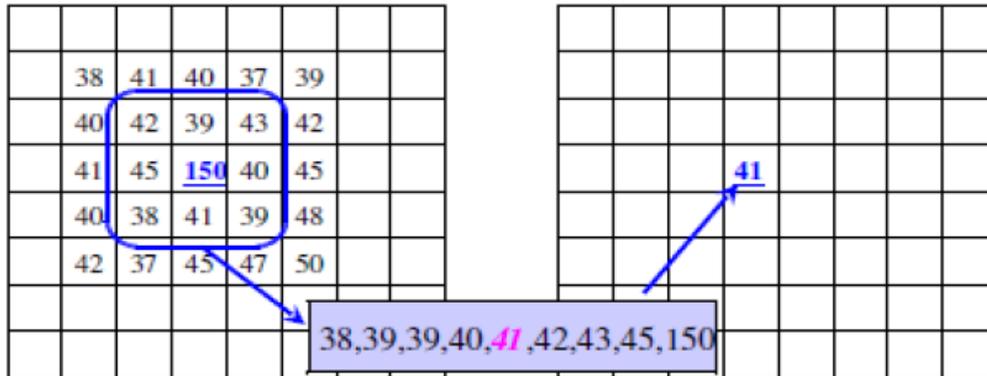


Figure III.1 : Mise en œuvre du filtre Médian [27].

- Les pixels voisins sont triés suivant un ordre croissant de **38** vers **150**, puis la valeur médiane de la série numérique obtenue (**41**) devra remplacer le point central.

Le filtre median sert à diminuer plusieurs types de bruits. Les chercheurs ont remarqués que ce filtre est plus efficace dans le cas d'un bruit de type « sel et poivre ». En outre, ce filtre est connu par sa préservation de contour, mais affecte les angles et les détails fins.



(a)



(b)

Figure III.2 : Exemple de filtrage médian. (a) Image dégradée avec un bruit aléatoire avec une probabilité de 20%, (b) Résultat du filtrage avec un filtre médian de 3x3 [28].

### III.3.2. Filtre de Nagao

Le filtre de Nagao est un filtre non linéaire utilisé fréquemment dans les images aériennes des zones urbaines, vision industrielle,...etc.

Le filtre de Nagao examine un masque de 5x5 entourant le pixel central. Neuf fenêtres  $F_i$  sont définies dans ce masque. Pour chaque fenêtre  $F_i$  la moyenne  $M_i$  et la variance  $V_i$  sont calculées. Le résultat de l'opérateur prélevé est la moyenne de la fenêtre qui présente la plus faible variance.

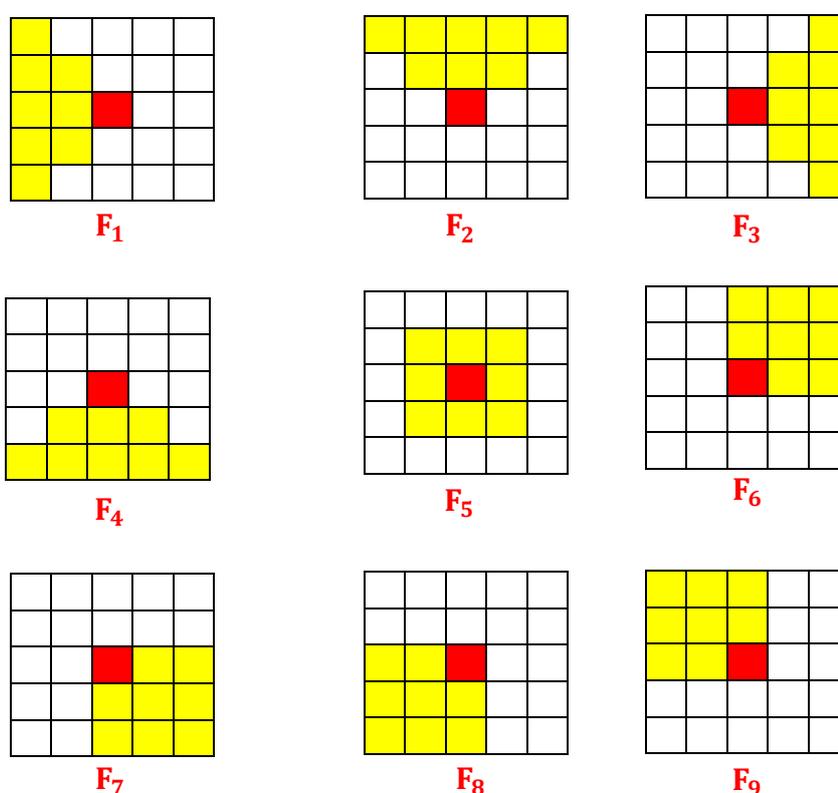
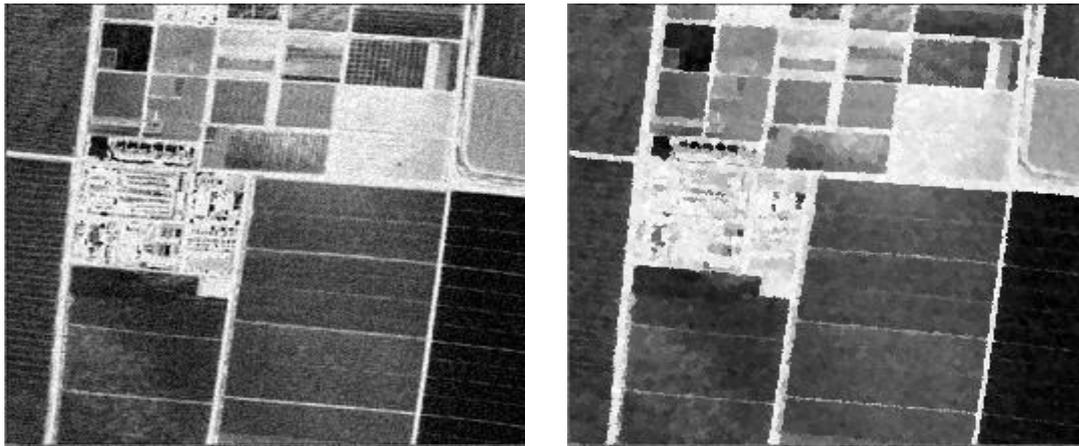


Figure III.3 : Les 9 fenêtres du filtre Nagao.

Le filtre de Nagao provoque l'image d'une dégradation qui s'appelle « l'effet de bloc », cette distorsion se manifeste généralement au niveau des frontières entre blocs et apparaît comme des contours verticaux et horizontaux dont la visibilité dépend fortement de la distribution spatiale du signal image. En effet, tous les blocs sont encodés indépendamment les uns des autres. Il peut donc arriver qu'à la frontière entre deux blocs.



(a)

(b)

Figure III.4 : Filtrage Nagao. (a) image aérienne, (b) image filtrée par Nagao.

### III.3.3. Filtrage Gaussien

Le filtre Gaussien est un exemple de filtre linéaire dont les coefficients, choisis avec plus de soins, permettent un traitement moins grossier de l'image.

Le filtre Gaussien est utilisé comme constituant du masque flou qui améliore la netteté apparente des photographies numériques. Bien qu'il soit popularisé par la photographie plus ou moins artistique, il est également utilisé dans certaines techniques, comme l'astronomie [29].

Les coefficients du masque pour un filtre 3\*3 sont:  $\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$ .

Les coefficients sont calculés en utilisant des pondérations gaussiennes. Des itérations successives permettent d'obtenir le Gaussien 5\*5 (2 itérations) et le Gaussien 7\*7 (3 itérations) [27].

La figure III.5 donne un exemple d'application du filtre Gaussien sur une image bruitée par un bruit linéaire.

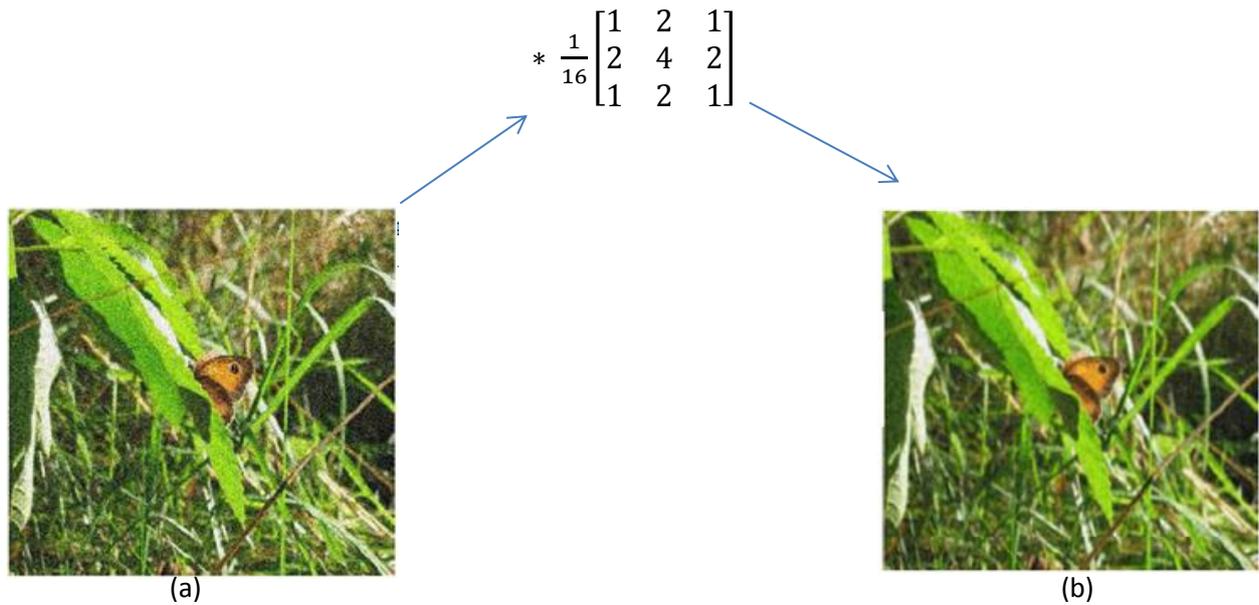


Figure III.5 : Exemple de filtre Gaussien. (a) image bruitée, (b) image filtrée [27].

### III.3.3.1. Courbe de Gauss

La fonction de Gauss suivante est très utilisée dans les statistiques ;

$$G(x, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (III.3)$$

La courbe de cette fonction est représentée à la figure ci-dessous

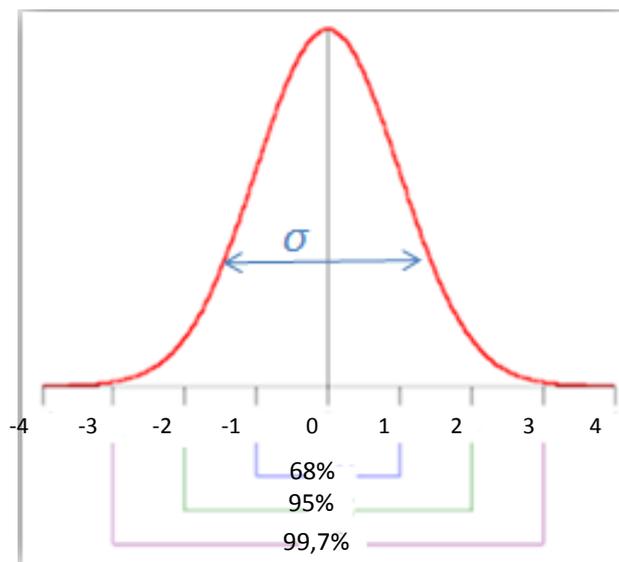


Figure III.6 : Courbe de Gauss 2D [27]

La largeur du filtre est donnée par sa variance  $\sigma$ . Si  $\sigma$  est plus petite le filtrage presque ne peut pas effectuer, plus  $\sigma$  est élevé, plus le bruit est réduit, mais plus l'image filtrée devient floue. Si  $\sigma$  est choisi trop grand, tous les détails de l'image disparaissent.

- Il faut trouver un compromis entre la quantité de bruit à enlever et la qualité de l'image en sortie.

### III.3.3.2. Masque Gaussien

Une gaussienne à deux dimensions est donnée par l'expression suivante :

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (III.4)$$

Nous utilisons cette expression après la discrétisation en masque G comme suit :

$$G = \begin{vmatrix} 0,0007 & 0,0063 & 0,0129 & 0,0063 & 0,0007 \\ 0,0063 & 0,0543 & 0,1116 & 0,0543 & 0,0063 \\ 0,0129 & 0,1116 & 0,2292 & 0,1116 & 0,0129 \\ 0,0063 & 0,0543 & 0,1116 & 0,0543 & 0,0063 \\ 0,0007 & 0,0063 & 0,0129 & 0,0063 & 0,0007 \end{vmatrix}$$

Le filtrage Gaussien consistera donc en la convolution telle que 'g' est l'image filtrée, G est le masque Gaussien et I c'est l'image bruitée.

$$g = G * I \quad (III.5)$$

### III.3.4. Filtre de Wiener

Il peut être utilisé pour restaurer les images bruitées, ainsi que pour le filtrage. Les filtres de Wiener sont caractérisés par :

a. *Prétention*: le signal et le bruit (additif) sont des processus aléatoires linéaires stationnaires avec des caractéristiques spectrales connues.

b. *Condition*: le filtre doit être physiquement réalisable, c-à-d. causal (cette condition peut être abandonnée, ayant pour résultat une solution non-causale) [30].

c. *Critères d'exécution*: l'erreur minimum de moyenne carrée.

Le filtre de Wiener est donné par l'expression III.6:

$$G(u, v) = \frac{H^*(u, v)P_s(u, v)}{|H(u, v)|^2P_s(u, v) + P_n(u, v)} \quad (III.6)$$

La division par  $P_s$  facilite l'explication de son comportement :

$$G(u, v) = \frac{H^*(u, v)}{|H(u, v)|^2 + \frac{P_n(u, v)}{P_s(u, v)}} \quad (III.7)$$

➤ avec

- $H(u, v)$  = fonction de dégradation
- $H^*(u, v)$  = conjugué complexe de la fonction de dégradation
- $P_n(u, v)$  = densité spectrale de puissance du bruit
- $P_s(u, v)$  = densité spectrale de puissance d'image

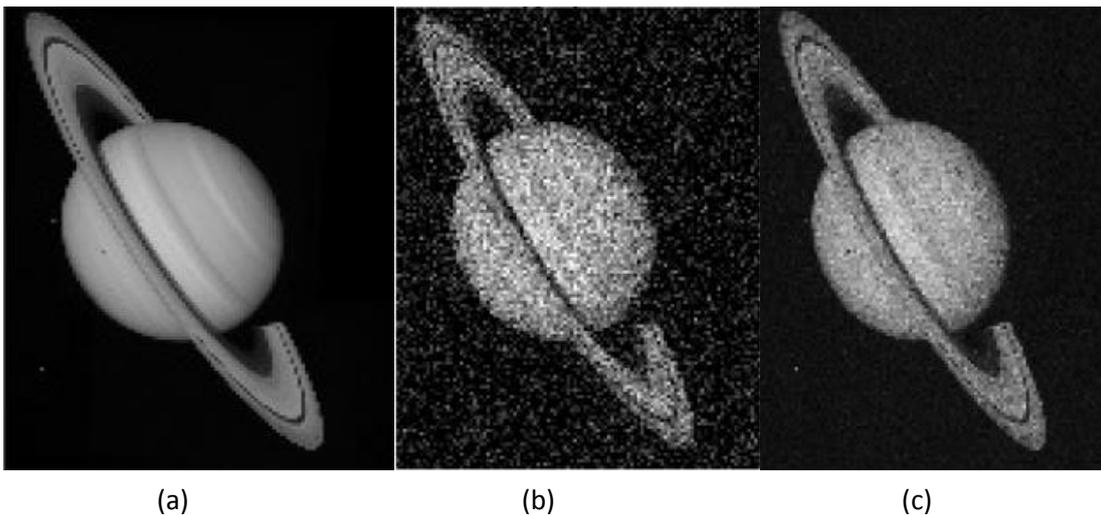


Figure III.7 : (a) image originale (b) image bruitée (c) application du filtre Wiener [31].

### III.3.5. Filtrage par ondelettes

Une ondelette est une fonction oscillante (ce qui explique le mot "onde") de moyenne nulle, possédant un certain degré de régularité et dont le support est fini (ce qui explique le mot "ondelette", qui veut dire petite onde). Généralement l'ondelette mère génère une famille d'ondelettes [32].

Il y a deux types de transformées en ondelettes, TO : redondantes et non- redondantes. D'un point de vue historique la première transformée en ondelettes utilisée en débruitage a été la

transformée en ondelettes discrète, TOD. Cette transformée est utilisée le plus souvent dans les applications de débruitage dans sa forme maximum décimée [33,34]. La transformée en ondelettes discrète est une transformée orthogonale et non-redondante.

Deux solutions sont envisageables pour l'implantation de la décomposition en ondelettes: une approche temporelle ou une approche fréquentielle.

### III.3.5.1. Quelques familles d'ondelettes

Voici des exemples de quelques familles d'ondelettes:

$\psi_0(\omega)$ : Fonction d'échelle

$\psi_1(\omega)$ : Ondelette 1

$\psi_2(\omega)$ : Ondelette 2

#### A) Ondelettes de Shannon M-bandes

Les ondelettes de Shannon M-bandes (aussi appelées ondelettes sinc dans la littérature) correspondent à une analyse idéalement sélective dans le domaine fréquentiel comme on peut le constater sur la figure III.8.

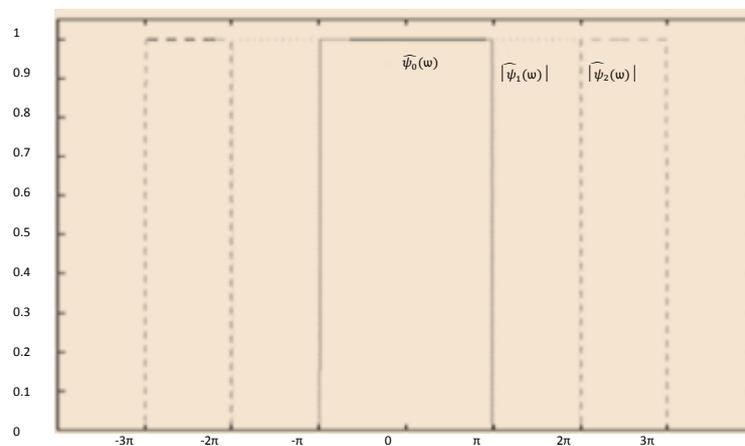


Figure III.8 : Ondelettes de Shannon 3-bandes dans le domaine fréquentiel [32].

#### B) Ondelettes de Daubechies

Voici quelque premières ondelettes mère de la famille proposées par Daubechies (temps en fonction d'amplitude).

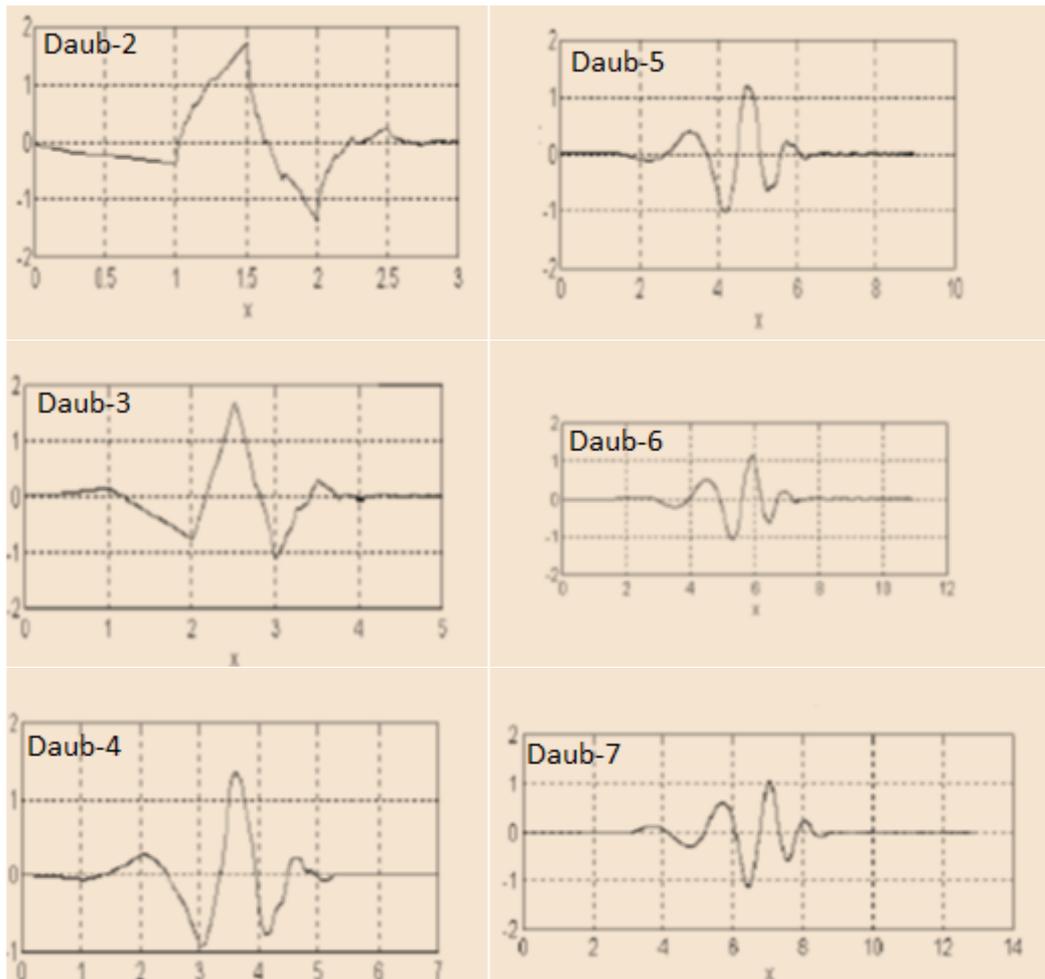


Figure III.9 : Ondelettes mère proposées par Daubechies.

Les réponses en fréquence des filtres spécifiques pour la paire d'ondelettes mères Daubechies 9/7 sont représentées sur la figure III.10.

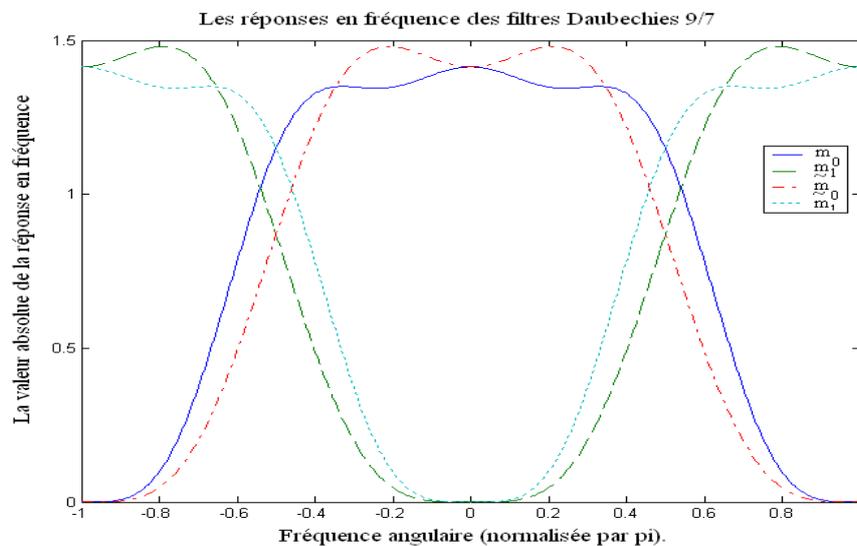


Figure III.10 : Les réponses en fréquence d'ondelettes mères Daubechies 9/7.

### C) Ondelettes de Meyer

Ces ondelettes sont aussi à bande limitée mais présentent des transitions plus douces que celles de Shannon (voir la figure III.11).

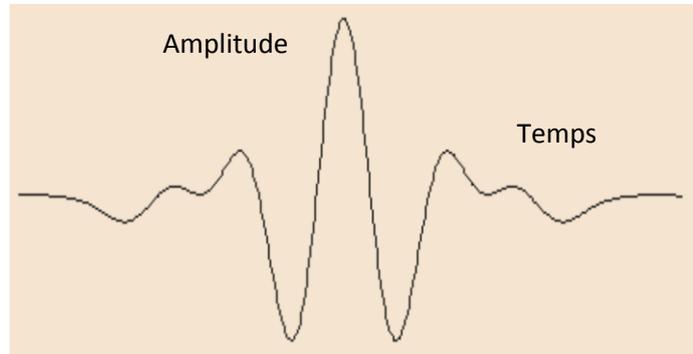


Figure III.11 : Ondelette mère de Meyer [35].

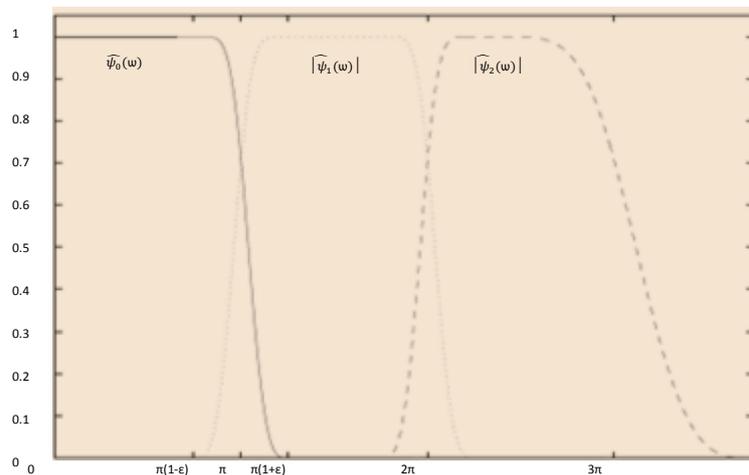


Figure III.12 : Ondelettes de Meyer 3-bandes dans le domaine fréquent [32].

### D) Ondelettes de haar

Les ondelettes de haar est un cas particulier dans les familles d'ondelettes issues de paquet d'ondelettes, elle est représentée sur la figure III.13. Elle est équivalente à celle de Daubechie 1.

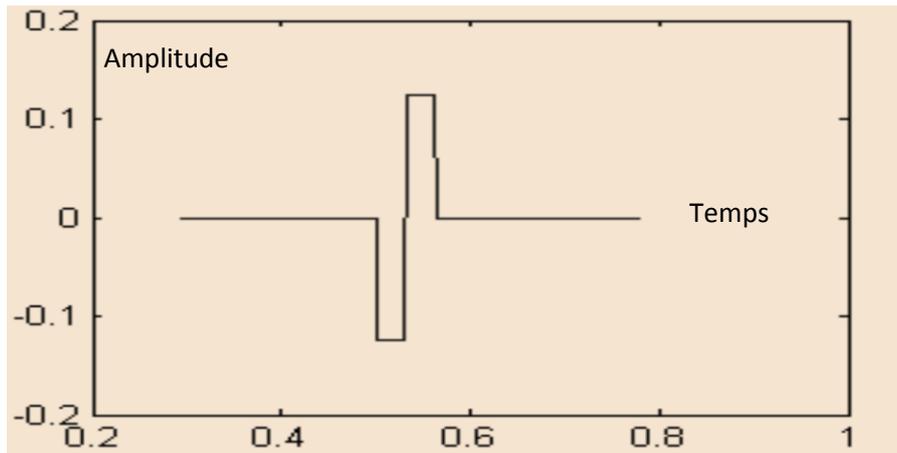


Figure III.13 : Ondelette mère de haar.

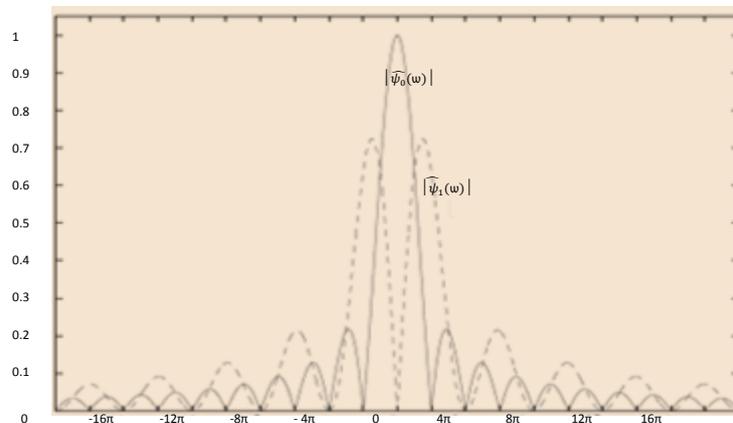


Figure III.14 : Ondelettes de Haar dans le domaine fréquentiel [32]

### E) Ondelettes de Franklin

Les ondelettes de Franklin définissent une base orthonormale dyadique d'ondelettes spline d'ordre 1.

Ces ondelettes sont représentées sur la figure III.15. Avec l'ondelette de Haar, elles constituent des cas particuliers des ondelettes de Battle-Lemarié [32].

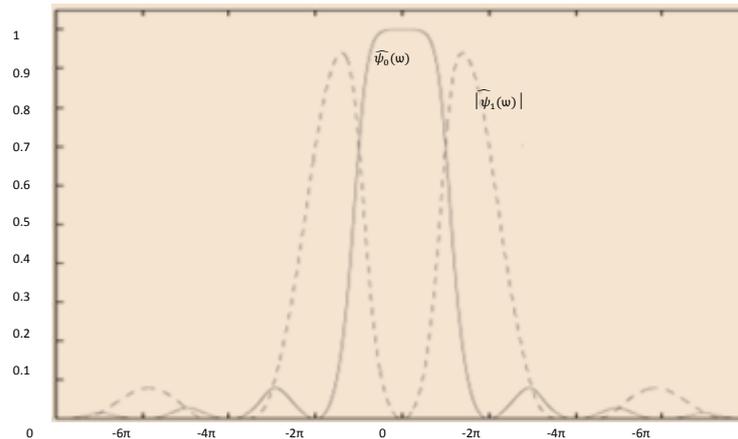


Figure III.15 : Ondettes de franklin dans le domaine fréquentiel [32].

### III.3.5.2. Principe général du débruitage par seuillage des coefficients d'ondelettes :

En général, il est possible de réaliser une décomposition en ondelettes d'une image puis de reconstruire cette image à partir de ses coefficients d'ondelettes. Pourtant, cette technique n'aurait pas grand intérêt si on ne modifiait pas ces coefficients car on obtiendrait une image finale identique à l'image initiale [36] [37].

Les coefficients d'ondelettes marquent les discontinuités qui interviennent dans l'image. Ils correspondent donc aux détails. Si, maintenant, on seuille ces coefficients, cela revient à éliminer les détails les plus fins de l'image. Il en découle donc deux grandes applications de cette technique de seuillage des coefficients d'ondelettes : la compression et le débruitage des images [38].

Les images obtenues par les différentes techniques d'acquisition (radar, satellites, scanner, échographie, etc...) sont souvent très bruitées. Nous pouvons formuler ceci d'un point de vue mathématique en écrivant:

$$X = f + W \quad (III.8)$$

$X$  : l'image obtenue,

$f$  : l'image de départ

$W$  : le bruit.

On cherche alors l'opérateur de débruitage  $D$  qui permettra d'estimer l'image dans le bruit  $W$ .

Nous aurons dans une base orthogonale d'ondelette  $B = \{g_m\}$ , l'expression :

$$DX = \sum_{m=0}^{N-1} d_m (X_B[m]) g_m \quad (\text{III. 9})$$

$d_m$  s'appelle un seuillage [39].

### III.3.5.3. Différents types de seuillage

Il existe plusieurs types d'estimateurs par seuillage. Nous pouvons d'abord distinguer le seuillage dur et le seuillage doux.

#### A) Seuillage dur ou "hard thresholding"

Le seuillage dur est celui qui est le plus "intuitif". Un seuil  $T > 0$  est fixé. Nous ne conservons que les coefficients d'ondelettes supérieurs à  $T$  et les autres sont mises à zéro.

$$d_m(X) = \rho_T(X) = \begin{cases} X & \text{si } |X| > T \\ 0 & \text{si } |X| \leq T \end{cases} \quad (\text{III. 10})$$

La courbe du seuillage dur est représentée dans la figure III.16.

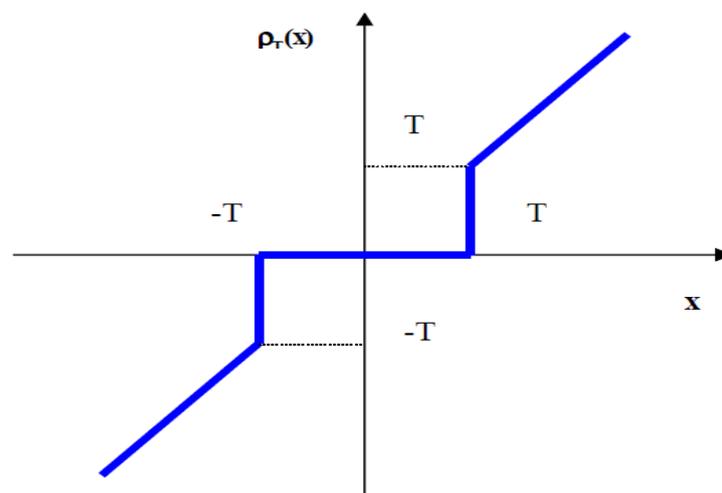


Figure III.16 : Courbe du seuillage dur [40].

### B) Seuillage doux ou "soft thresholding"

Dans le cas du seuillage doux, les coefficients inférieurs à un seuil  $T$  sont mis à zéro. Par contre, pour ceux supérieurs à  $T$ , l'amplitude des coefficients sont atténués par la valeur du seuil afin de s'assurer d'avoir enlevé l'effet du bruit même pour les forts coefficients.

$$d_m(X) = \rho_T(X) = \begin{cases} X - \text{sign}(X)T & \text{si } |X| > T \\ 0 & \text{si } |X| \leq T \end{cases} \quad (\text{III. 11})$$

Dans ce cas, la fonction de seuillage  $\rho_T$  est continue (Figure III.17).

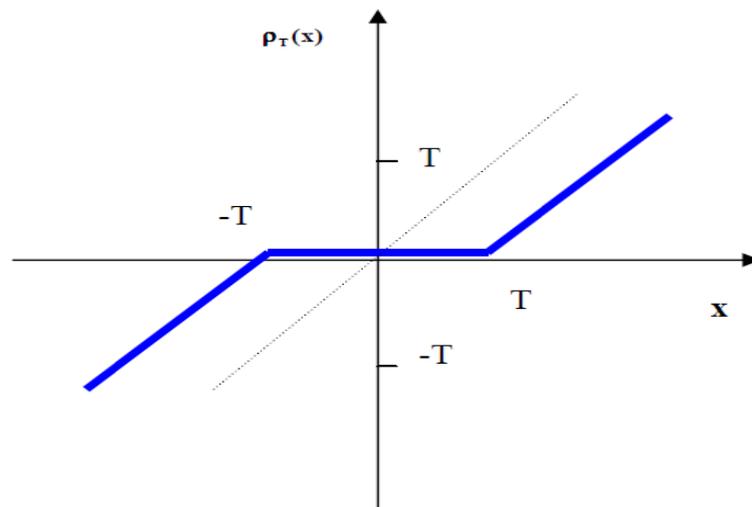


Figure III.17 : Courbe du seuillage doux. [40]

#### III.3.5.4. Méthode de filtrage par ondelettes

Après le calcul des coefficients d'ondelettes de l'image originale, nous appliquons un seuillage (doux ou dur) des coefficients d'ondelettes, ensuite un calcul de l'image filtrée est effectué par la transformation inverse des coefficients seuillés.

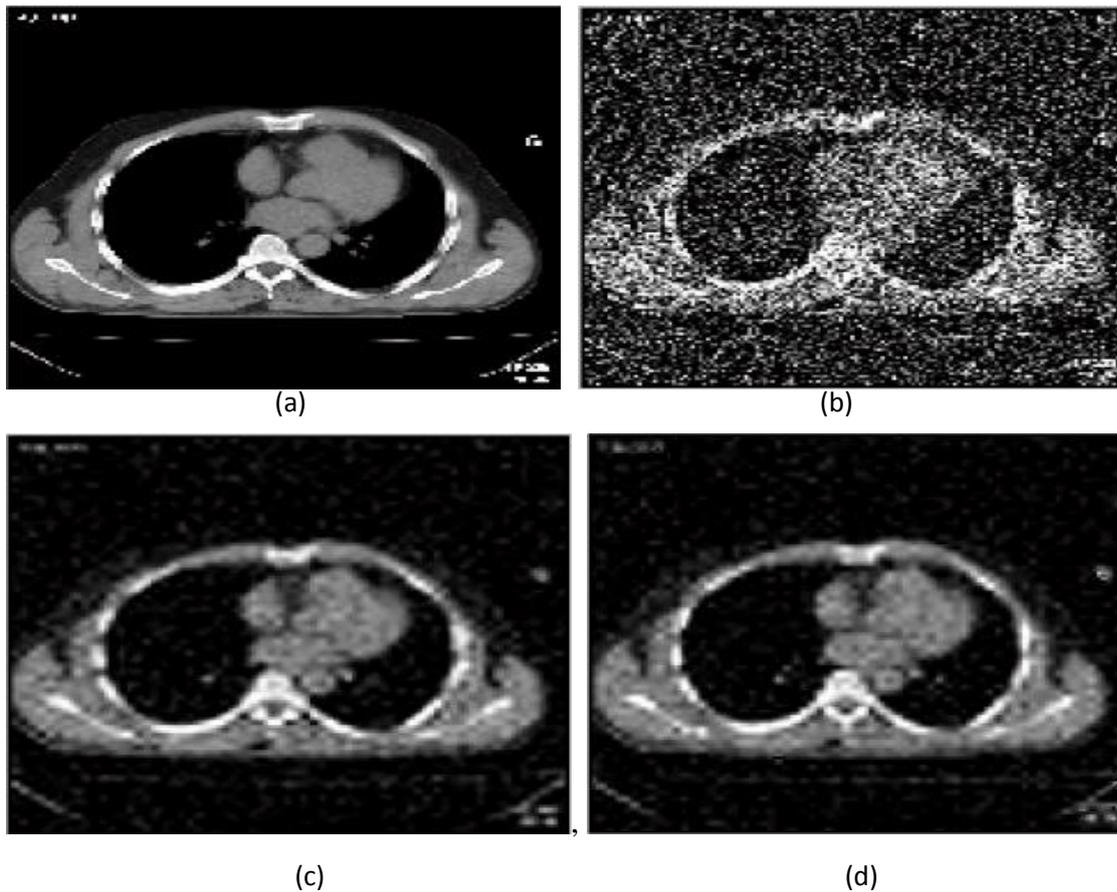


Figure III.18 : (a) image originale (b) image bruitée (c) image débruitée par un seuillage doux (d) image débruitée par un seuillage dur. Débruitage de l'image bruitée par l'ondelette de Haar [39].

### III.4. Conclusion

Le filtrage représente une opération importante dans le traitement d'images, car il permet de restaurer l'image originale après une détérioration (bruitage).

Comme plusieurs types de bruits peuvent affecter une image, les traiteurs d'images ont développé plusieurs types de filtres à cet effet.

Dans le chapitre suivant nous allons analyser et étudier des applications de quelques filtres sur des images bruitées dans le but d'arriver au meilleur filtre basé sur nos résultats statistiques.

# ***CHAPITRE IV:***

## *Résultats et interprétations*

## IV.1. Introduction

Le choix du filtre pour le débruitage d'images numériques reste encore un défi scientifique pour les chercheurs. Il y a un bon nombre de techniques en traitement d'images disponibles à appliquer et supprimer le bruit dans une image. Dans notre étude nous nous intéressons aux cinq types de filtrage et aux quatre types de bruit.

Nous présentons dans ce chapitre les résultats d'interprétation des méthodes de débruitage sur des images de différentes natures. Les programmes ont été exécutés sous l'environnement Matlab.

MATLAB est un logiciel basé sur des opérations arithmétiques, il permet aussi de visualiser les résultats des opérations effectuées sur les images (niveau de gris, fausses couleurs ou bien en pseudo couleurs, bruitage et filtrage). Nous avons employé leurs paramètres pour analyser la qualité de l'image filtrée dans le but de déterminer le filtre le plus efficace pour le débruitage d'images.

## IV.2. Mécanisme de travail

Il existe d'autres méthodes qui sont très largement utilisées dans le monde du filtrage d'images. Notre but n'étant pas d'écrire un catalogue des différentes techniques mais de comparer les performances de quelques filtres sur une image bruitée par différents bruit utilisant des critères employés en traitement d'image.

Nous avons divisé notre travail en six étapes:

- *Etape 01:* Trois types d'images sont utilisées : image photographique, image médicale et image satellitaire. Chaque image sera choisie et analysée.
- *Etape 02:* Le bruitage sera appliqué sur l'image choisie. Nous avons retenu trois types de bruits : bruit sel et poivre, bruit gaussien et bruit speckle.
- *Etape 03:* L'image bruitée sera filtrée en utilisant 5 filtres : filtre median, filtre de Nagao, filtre Gaussien, filtre Wiener, et filtre d'ondelettes.
- *Etape 04:* Les paramètres statistiques (SNR, PSNR et MSE) sont calculés pour l'image filtrée obtenue à partir de chaque filtre.
- *Etape 05:* L'analyse et l'interprétation des performances des filtres à l'aide de tableaux, des représentations graphiques et la visualisation humaine, sera effectuée.

- *Etape 06*: Après la comparaison des résultats des cinq filtres, le meilleur filtre sera extrait.

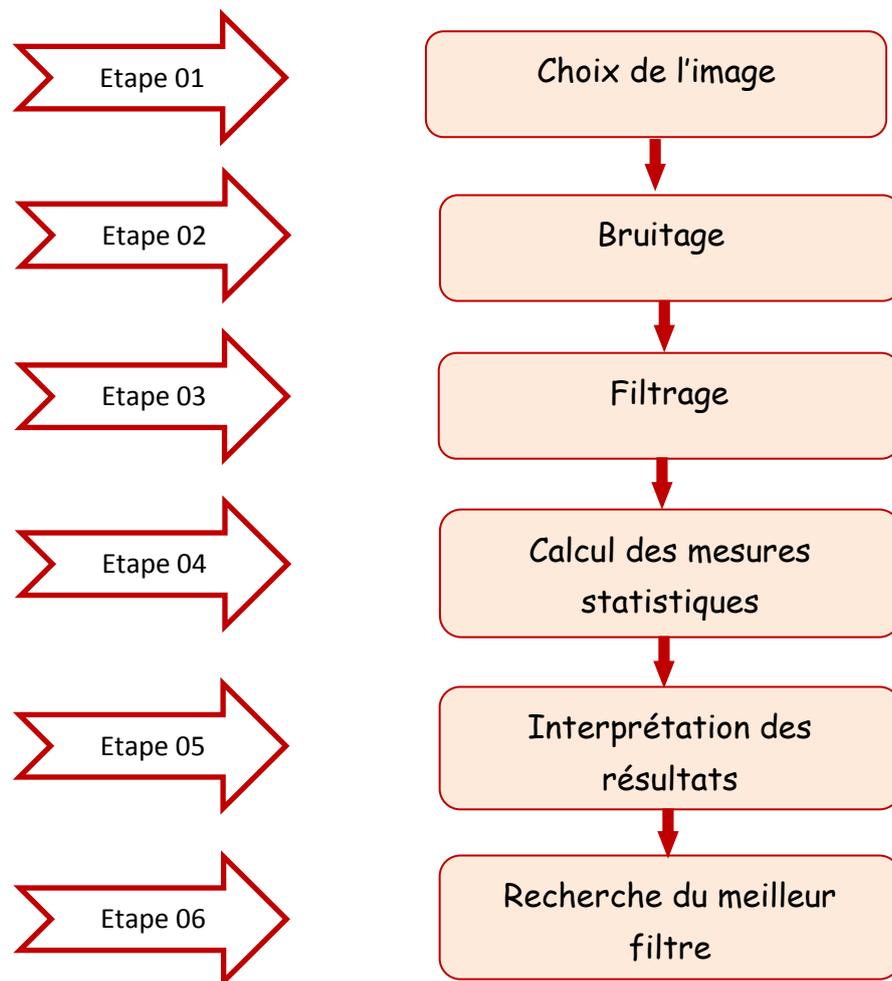


Figure IV.1: Processus du filtrage d'images.

### IV.3. Implémentation et résultats

Notre travail sera divisé en trois études comme ci-dessous :

#### IV.3.1. Etude 01 : Filtrage d'une image photographique (Lena) bruitée

Notre étude est expérimentée afin de comparer certaines techniques de filtrage des images bruitées. Les filtres évalués sont : median, Nagao, Gaussien, Wiener, et filtrage par ondelettes.

- Les bruits utilisés sont :
  - 1) Bruit sel et poivre de 20%.
  - 2) Bruit gaussien d'une moyenne zéro et d'une variance  $v=0,01$ .
  - 3) Bruit speckle de variance  $v=0,04$ .

- Les critères de comparaisons seront basés sur les mesures statistiques suivantes :
  - 1) Le rapport signal sur bruit (SNR : Signal to Noise Ratio),
  - 2) Le rapport signal sur bruit Crete (PSNR: Peak Signal to Noise Ratio).
  - 3) Erreur Quadratique Moyenne (MSE: Mean Square Error).

**NB :**

- ✚ On notera que plus le SNR et le PSNR sont élevés et que MSE est faible, les résultats du filtrage sont meilleurs.
- ✚ Les mesures statistiques utilisées dans notre étude sont mal corrélées à la qualité visuelle en revanche avec les autres mesures.

### A) Filtre Median

#### 1) Etude objective

Nous avons appliqué trois masques de filtre median sur l'image photographique (image de Lena) bruitée par bruit sel et poivre, bruit gaussien, puis bruit speckle. Nous avons calculé des mesures statistiques souvent utilisés en traitement d'images (SNR, PSNR, et MSE). Les résultats sont résumés dans le tableau IV.1.

	Bruit sel et poivre			Bruit gaussien			Bruit speckle		
	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR
Image bruitée	0,0018	22,344	19,081	0,0099	20,047	15,026	0,0106	19,764	14,495
Image filtrée par median (3*3)	0,0001	37,2514	52,07	0,0020	27,029	28,879	0,0032	24,956	24,512
Image filtrée par median (5*5)	0,0005	32,236	40,376	0,001	28,225	31,075	0,0021	26,841	28,240
Image filtrée par median (11*11)	0,0021	26,797	27,455	0,0028	25,483	23,970	0,0032	24,967	23,170

Tableau IV.1 : Résultats de filtrage par trois masques median d'une image photographique bruitée par 3 types de bruits.

Nous remarquons que le filtre Median est plus efficace sur le bruit sel et poivre, avec une valeur maximale de PSNR et SNR, et avec une valeur minimale de MSE pour le masque 3x3 malgré l'amélioration obtenue sur les autres bruits (gaussien et speckle).

## 2) Etude subjective

Nous remarquons que lorsque le masque du filtre median est élevé, le bruit sel et poivre diminue. Mais il y a apparition de flou. Malgré la diminution des bruits mais ils sont toujours visibles.



Figure IV.2 : Etude subjective des résultats de filtrage par trois masques median d'une image photographique bruitée par 3 bruits.

## B) Filtre de Nagao

### 1) Etude objective

Nous avons appliqué le masque 5x5 du filtre Nagao sur l'image Lena bruitée, ensuite les SNR, PSNR, et MSE sont calculés (tableau IV.2).

	Bruit sel et poivre			Bruit gaussien			Bruit Speckle		
	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR
Image bruitée	0,0018	22,344	19,081	0,0099	20,047	15,026	0,0106	19,764	14,495
Image filtrée par Nagao	0,0053	22,756	20,208	0,0068	21,695	17,891	0,0077	21,158	17,225

Tableau IV.2 : Résultats de filtre de Nagao d'une image photographique bruitée par 3 bruits.

Nous voyons que malgré les améliorations obtenues sur le bruit sel et poivre et le bruit gaussien, les meilleurs résultats sont ceux du bruit speckle.

## 2) Etude subjective

Nous voyons que même si le bruit sel et poivre est éliminé, ce filtre influe sur l'image par une amélioration de contraste mais avec une apparition de l'effet de bloc et aussi de l'effet de bord.



Figure IV.3 : Etude subjective des résultats du filtre de Nagao d'une image photographique bruitée par 3 bruits.

### 3) Filtre Gaussien

#### 1) Etude objective

Différentes tailles de masques du filtre Gaussien sont appliqués sur l'image de Lena bruitée. Le bruitage de l'image est réalisé de la même façon que les expériences précédentes. Les résultats sont présentés dans le tableau IV.3.

	Bruit sel et poivre			Bruit gaussien			Bruit speckle		
	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR
Image bruitée	0,0018	22,344	19,081	0,0099	20,047	15,026	0,0106	19,764	14,495
Image filtrée par Gaussien (3*3)	0,0011	29,424	33,778	0,0017	27,581	30,065	0,0019	27,284	29,333
Image filtrée par Gaussien (5*5)	0,0011	29,709	34,355	0,0016	28,029	30,994	0,0017	27,726	30,232
Image filtrée par Gaussien (11*11)	0,0011	29,705	34,325	0,0016	28,015	30,961	0,0017	27,798	30,352

Tableau IV.3 : Résultats de filtrage par trois masques Gaussien d'une image photographique bruitée par 3 bruits.

Les résultats obtenus sont très proches. Pour une meilleure précision, il vaut mieux utiliser le masque 5x5 pour le bruit gaussien et le bruit speckle, et un masque de taille 11x11 pour le bruit sel et poivre.

#### 2) Etude subjective

Une amélioration acceptable sur l'image bruitée par le speckle, pour le bruit sel et poivre l'amélioration est négligeable. L'image filtrée la plus proche à l'image originale est celle du bruit speckle avec un masque de 5x5.



Figure IV.4 : Etude subjective des résultats de filtrage par trois masques Gaussien d'une image photographique bruitée par les 3 bruits.

### 3) Filtre Wiener

#### 1) Etude objective

Nous avons appliqué trois différents masques du filtre Wiener sur l'image de Lena bruitée par les mêmes bruits appliqués précédemment. Les résultats sont présentés dans le tableau IV.4.

	Bruit sel et poivre			Bruit gaussien			Bruit Speckle		
	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR
Image bruitée	0,0018	22,344	19,081	0,0099	20,047	15,026	0,0106	19,764	14,495
Image filtrée par Wiener (3*3)	0,0042	23,805	21,732	0,0019	27,292	29,465	0,0024	26,242	26,380
Image filtrée par Wiener (5*5)	0,0025	25,997	26,037	0,0012	29,099	33,119	0,0016	27,937	30,574
Image filtrée par Wiener (11*11)	0,0018	27,386	28,174	0,0020	27,086	27,682	0,0023	26,331	25,975

Tableau IV.4 : Résultats de filtrage par trois masques Wiener d'une image photographique bruitée par les 3 bruits.

D'après les mesures statistiques obtenues nous avons remarqués que le filtre Wiener est bien adapté sur le bruit Gaussien et le bruit speckle. Dans le cas d'un bruit sel et poivre nous voyons que lorsque la taille du masque est plus grande, les PSNR et les SNR sont augmentés et les MSE sont diminués. Nous concluons que le masque 5x5 du filtre Wiener est plus adapté aux bruits gaussien et speckle.

## 2) Etude subjective

Nous remarquons que l'image filtrée la plus proche à l'image originale est celle du bruit gaussien. Plus la taille du masque est grand plus le bruit gaussien diminue, mais un effet de flou apparait. Nous remarquons que le bruit sel et poivre est diminué d'une façon remarquable dans le cas du masque 11x11, mais avec une perte d'information.



Figure IV.5 : Etude subjective des résultats de filtrage par trois masques Wiener d'une image photographique bruitée par 3 bruits.

### 3) Filtrage par ondelettes

#### 1) Etude objective

Nous avons effectué un filtrage par ondelettes caractérisé par un niveau de décomposition égale à 2 et un seuillage doux de trois familles d'ondelettes (Haar, Daubechies, et Discret Meyer) sur les mêmes images bruitées utilisées dans les expériences précédentes. Les résultats statistiques sont présentés dans le tableau IV.5.

	Bruit sel et poivre			Bruit gaussien			Bruit speckle		
	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR
Image bruitée	0,0018	22,344	19,081	0,0099	20,047	15,026	0,0106	19,764	14,495
Image filtrée par ondelette n=2, haar, seuillage doux	0,0046	23,336	20,900	0,0024	26,256	26,475	0,0024	26,242	26,380
Image filtrée par ondelette n=2, db4, seuillage doux	0,0044	23,531	21,338	0,0016	28,029	30,828	0,0016	27,937	30,574
Image filtrée par ondelette n=2, dmey, seuillage doux	0,0040	23,999	22,329	0,0014	28,389	31,687	0,0015	28,198	31,179

Tableau IV.5 : Résultats de filtrage par trois familles d'ondelette d'une image photographique bruitée par les 3 bruits.

Nous remarquons une amélioration négligeable pour l'image bruitée sel et poivre. En revanche, Une très bonne amélioration est obtenue aux autres bruits (gaussien et speckle). D'après le tableau IV.5, la famille d'ondelettes qui donne le meilleur rendement est la famille de Discret Meyer.

#### 2) Etude subjective

Comme nous voyons ce type de filtrage est mauvais pour les bruits sel et poivre. Contrairement avec les autres bruits, les images obtenues sont plus proches à l'image originale, le meilleur résultat est celle de l'ondelette Discret Meyer.



Figure IV.6 : Etude subjective des résultats de filtrage par trois familles d'ondelettes d'une image photographique bruitée par 3 bruits.

#### IV.3.1.2. Comparaison entre les meilleurs masques des filtres

	<b>Bruit sel et poivre</b>					
	MSE	T	PSNR	T	SNR	T
Image bruitée	0.0018	0.001927	22.344	0.003429	19.081	0.012435
median (3*3)	0.0001	0.001774	37.2514	0.004578	52.07	0.008674
Nagao	0.0053	0.001924	22.756	0.003165	20.208	0.008870
Wiener (11*11)	0.0018	0.001929	27.386	0.004006	28.174	0.009131
Gaussien (5*5)	0.0011	0.002339	29.709	0.004131	34.355	0.008381
Ondelette (dmey)	0.0040	0.001745	23.999	0.003788	22.329	0.008222

Tableau IV.6 : Comparaison entre les résultats des filtres de meilleures performances sur l'image Lena bruitée par le bruit Sel et Poivre.

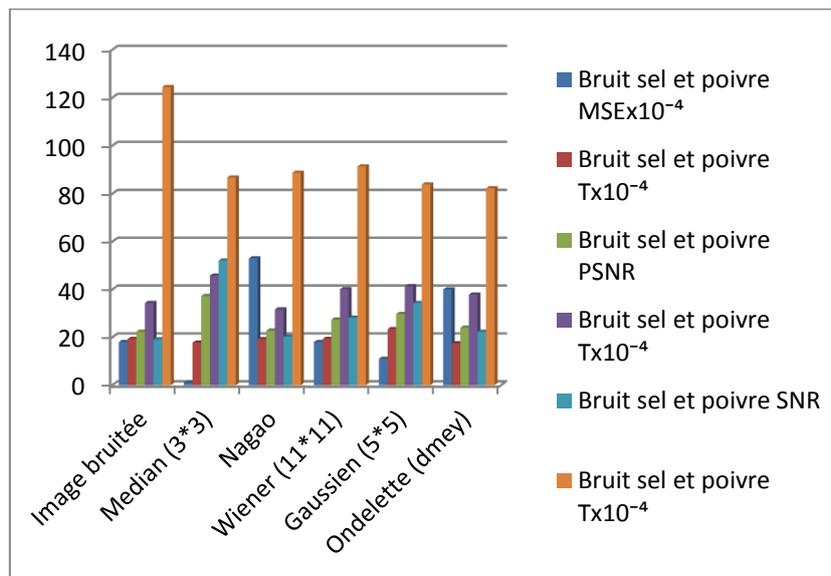


Figure IV.7 : Comparaison graphique entre les résultats des filtres de meilleures performances sur l'image Lena bruitée par le bruit sel et poivre.

Même si le calcul de MSE des ondelettes est plus rapide, le MSE du filtrage median est plus efficace. Malgré que le PSNR du filtre Nagao est le plus rapide, le filtre median est plus efficace. Le SNR des ondelettes est plus rapide à calculer mais le SNR le plus efficace est celui du median.

D'après l'affichage des images, nous remarquons que malgré que le filtre Nagao ne donne pas de bons résultats mais il améliore le contraste. Le meilleur filtrage pour le bruit sel et poivre est le filtre median.

	<b>Bruit gaussien</b>					
	MSE	T	PSNR	T	SNR	T
Image bruitée	0.0099	0.002085	20.047	0.003799	15.026	0.009814
Median (5*5)	0.001	0.002333	28.225	0.004037	31.075	0.008350
Nagao	0.0068	0.002033	21.695	0.003402	17.891	0.008335
Wiener (5*5)	0.0012	0.001784	29.099	0.003359	33.119	0.008800
Gaussien (5*5)	0.0016	0.002021	28.029	0.003740	30.994	0.008700
Ondelette (dmey)	0.0014	0.001811	28.389	0.003703	31.687	0.008413

Tableau IV.7 : Comparaison entre les résultats des filtres de meilleures performances sur l'image Lena bruitée par le bruit gaussien.

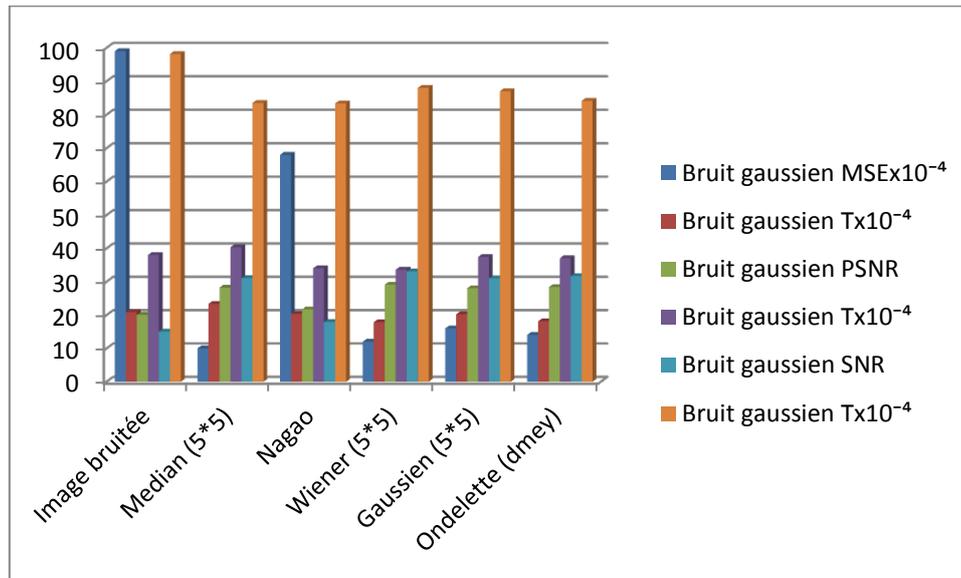


Figure IV.8 : Comparaison graphique entre les résultats des filtres de meilleures performances sur l’image Lena bruitée par le bruit gaussien.

Dans ce cas les valeurs de MSE et de PSNR du filtre Wiener sont plus rapides et plus efficaces, malgré que la valeur de SNR de filtre Wiener n'est pas la plus rapide à calculer mais elle est la plus efficace. Nous concluons que le filtre Wiener est le plus efficace sur le bruit gaussien.

D’après la comparaison entre les images obtenues nous avons remarqués que les résultats obtenus par le filtre Wiener et le filtrage par ondelettes sont proches mais les ondelettes préservent les détails mieux que Wiener. Nous avons remarqué que le filtre Nagao améliore la contraste, donc visuellement nous préférons le filtrage par ondelettes.

	<b>Bruit de speckle</b>					
	MSE	T	PSNR	T	SNR	T
Image bruitée	0.0106	0.001774	19.764	0.003772	14.495	0.008274
Median (5*5)	0.0021	0.001712	26.841	0.003782	28.240	0.008419
Nagao	0.0077	0.001849	21.158	0.003831	17.225	0.008442
Wiener (5*5)	0.0016	0.001938	27.937	0.006077	30.574	0.008484
Gaussien (5*5)	0.0017	0.002313	27.726	0.005441	30.232	0.008729
Ondelette (dmey)	0.0015	0.002097	28.198	0.003745	31.179	0.008323

Tableau IV.8 : Comparaison entre les résultats des filtres de meilleures performances sur l’image Lena bruitée par le bruit speckle.

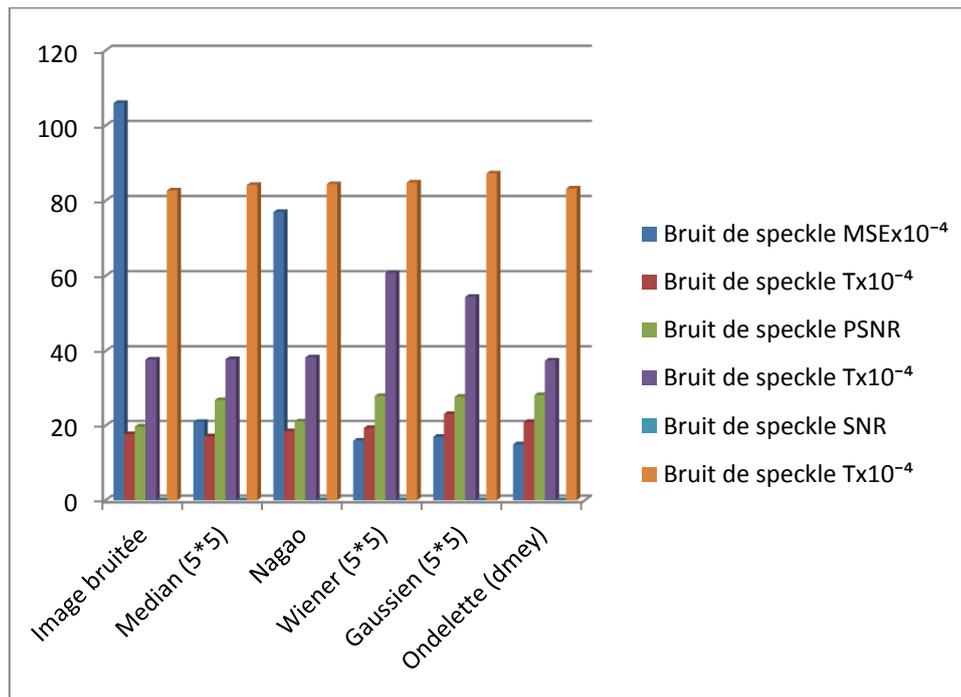


Figure IV.9 : Comparaison graphique entre les résultats des filtres de meilleures performances sur l'image Lena bruitée par le bruit speckle.

Dans ce cas le MSE des Ondelettes est plus efficace mais celui de median est plus rapide. Les SNR et les PSNR des ondelettes sont les plus rapides à calculer et les plus efficaces.

Visuellement, le filtre de Nagao améliore toujours le contraste. Le filtrage par ondelettes élimine le bruit avec une bonne préservation des détails par rapport aux autres filtres. Le meilleur filtrage pour le speckle est le filtrage par ondelettes.

### IV.3.2. Etude II : Filtrage des images affectées simultanément par trois types de bruits

#### IV.3.2.1. Résultats du filtrage

Pour une bonne interprétation, trois images de différentes natures sont bruitées par les bruits : sel et poivre, gaussien et speckle à la fois.

Les images utilisées sont de différentes tailles. L'image photographique (Lena) est de taille 480x480, l'image médicale (cellules) de 500x500, et l'image satellitaire (saturne) de 900x900 (Figure IV.10).

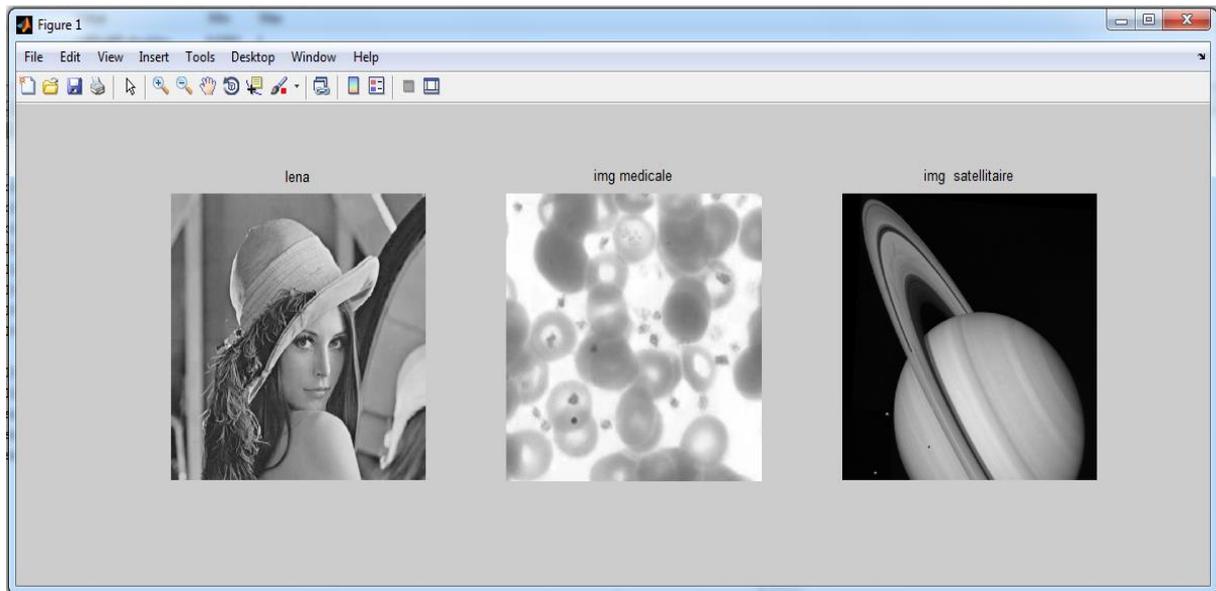


Figure IV.10 : Images originales utilisées.

**1) Filtre median**

	Image Lena			Image médicale			Image satellitaire		
	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR
Image bruitée	0.0241	16.1710	8.4398	0.0312	15.0633	3.8848	0.0194	17.1131	16.0620
Image filtrée par median (3*3)	0.0046	23.3312	21.0655	0.0072	21.4462	14.3081	0.0029	25.3846	34.0401
Image filtrée par median (5*5)	0.0028	25.5730	25.6517	0.0037	24.3601	20.8609	0.0012	29.0942	42.6166
Image filtrée par median (11*11)	0.0037	24.3065	21.7750	0.0025	26.0250	25.2378	0.0039	24.0545	21.8500

0.0078

Tableau IV.9 : Résultats de filtrage par trois masques median pour 3 images bruitées par trois bruits simultanément.

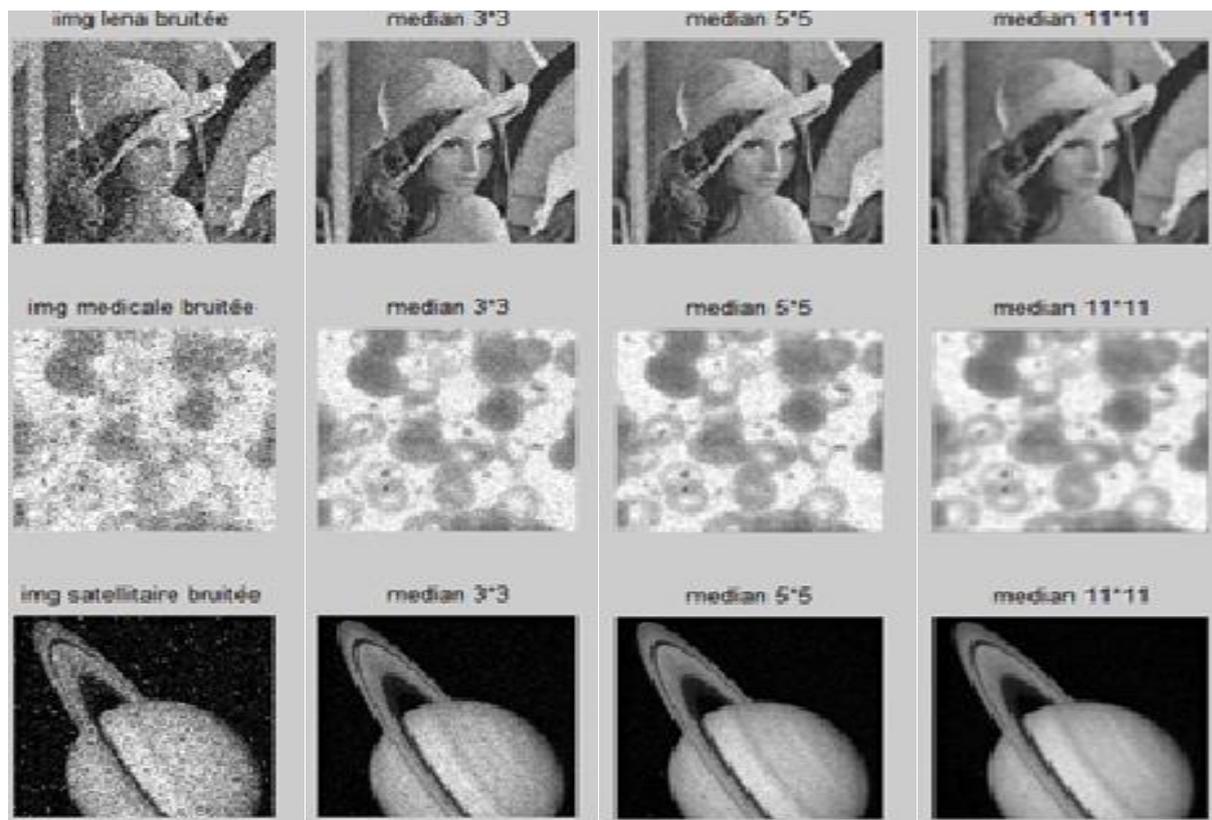


Figure IV.11 : Résultats subjectifs du filtrage par trois masques median pour 3 images bruitées par trois bruits simultanément.

## 2) Filtre de Nagao

	Image Lena			Image médicale			Image satellitaire		
	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR
Image bruitée	0.0241	16.1710	8.4398	0.0312	15.0633	3.8848	0.0194	17.1131	16.0620
Image filtrée par Nagao	0.0089	20.4955	15.8515	0.0145	18.4001	29.0517	0.0029	25.3444	33.7359

Tableau IV.10 : Résultats du filtre de Nagao sur 3 images bruitées par trois bruits simultanément.

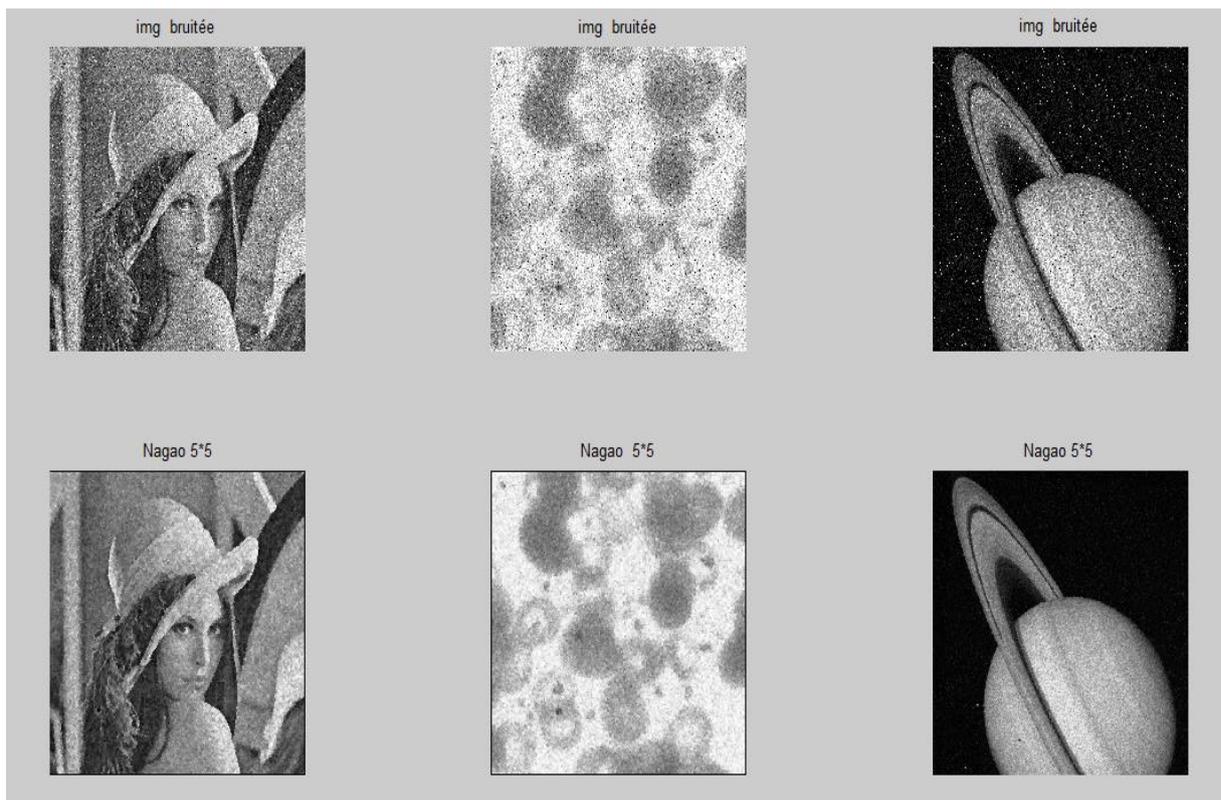


Figure IV.12 : Résultats subjectifs du filtre de Nagao sur 3 images bruitées par trois bruits simultanément.

### 3) Filtre gaussien

	Image Lena			Image médicale			Image satellitaire		
	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR
Image bruitée	0.0241	16.1710	8.4398	0.0312	15.0633	3.8848	0.0194	17.1131	16.0620
Image filtrée par Gaussien (3*3)	0.0039	24.0545	21.8500	0.0078	21.0697	11.7738	0.0037	24.2771	31.4880
Image filtrée par Gaussien (5*5)	0.0035	24.6011	22.8735	0.0071	21.5094	12.8617	0.0033	24.8391	32.9256
Image filtrée par Gaussien (11*11)	0.0034	24.6827	23.1133	0.0071	21.4892	12.7150	0.0033	24.8496	32.9019

Tableau IV.11 : Résultats du filtrage par trois masques Gaussien pour 3 images bruitées par trois bruits simultanément.

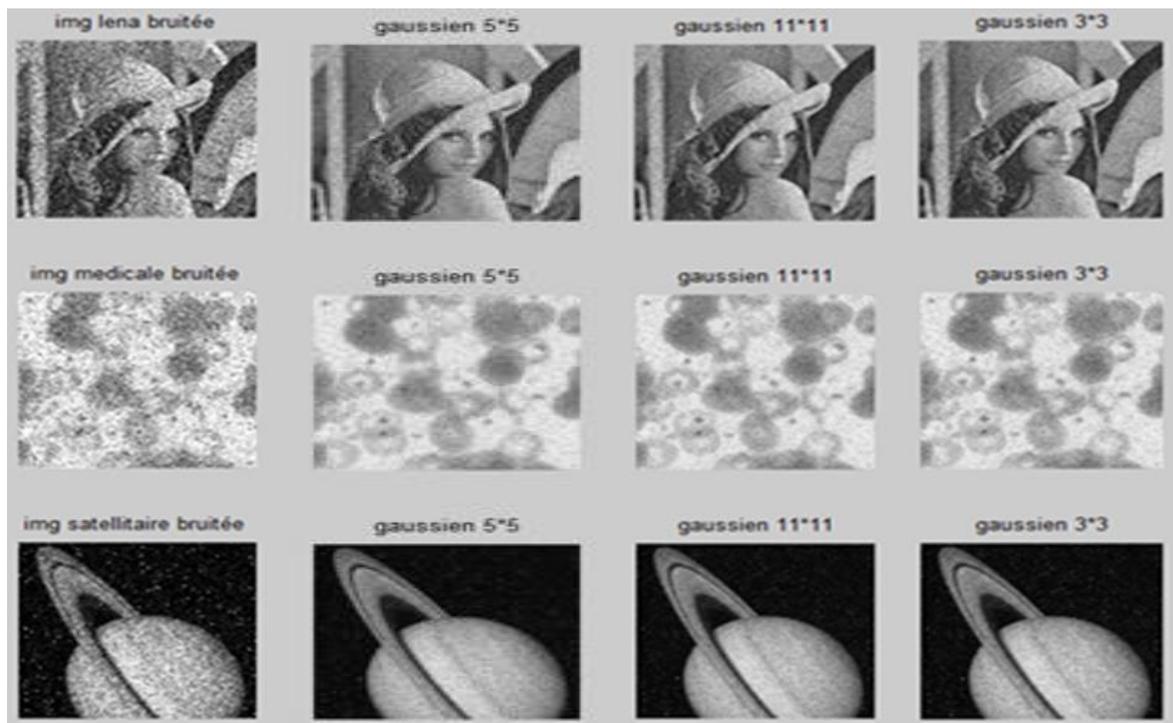


Figure IV.13 : Résultats subjectifs du filtrage par trois masques Gaussien pour 3 images bruitées par trois bruits simultanément.

#### 4) Filtre Wiener

	Image Lena			Image médicale			Image satellitaire		
	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR
Image bruitée	0.0241	16.1710	8.4398	0.0312	15.0633	3.8848	0.0194	17.1131	16.0620
Image filtrée par Wiener (3*3)	0.0056	22.4938	18.7220	0.0096	20.1925	10.1062	0.0076	21.2092	24.4539
Image filtrée par Wiener (5*5)	0.0031	25.1559	23.7440	0.0061	22.1239	13.9826	0.0047	23.3139	29.2154
Image filtrée par Wiener (11*11)	0.0031	25.1387	22.5047	0.0047	23.2763	16.8630	0.0028	25.5612	34.6516

Tableau IV.12 : Résultats du filtrage par trois masques Wiener pour 3 images bruitées par trois bruits simultanément.

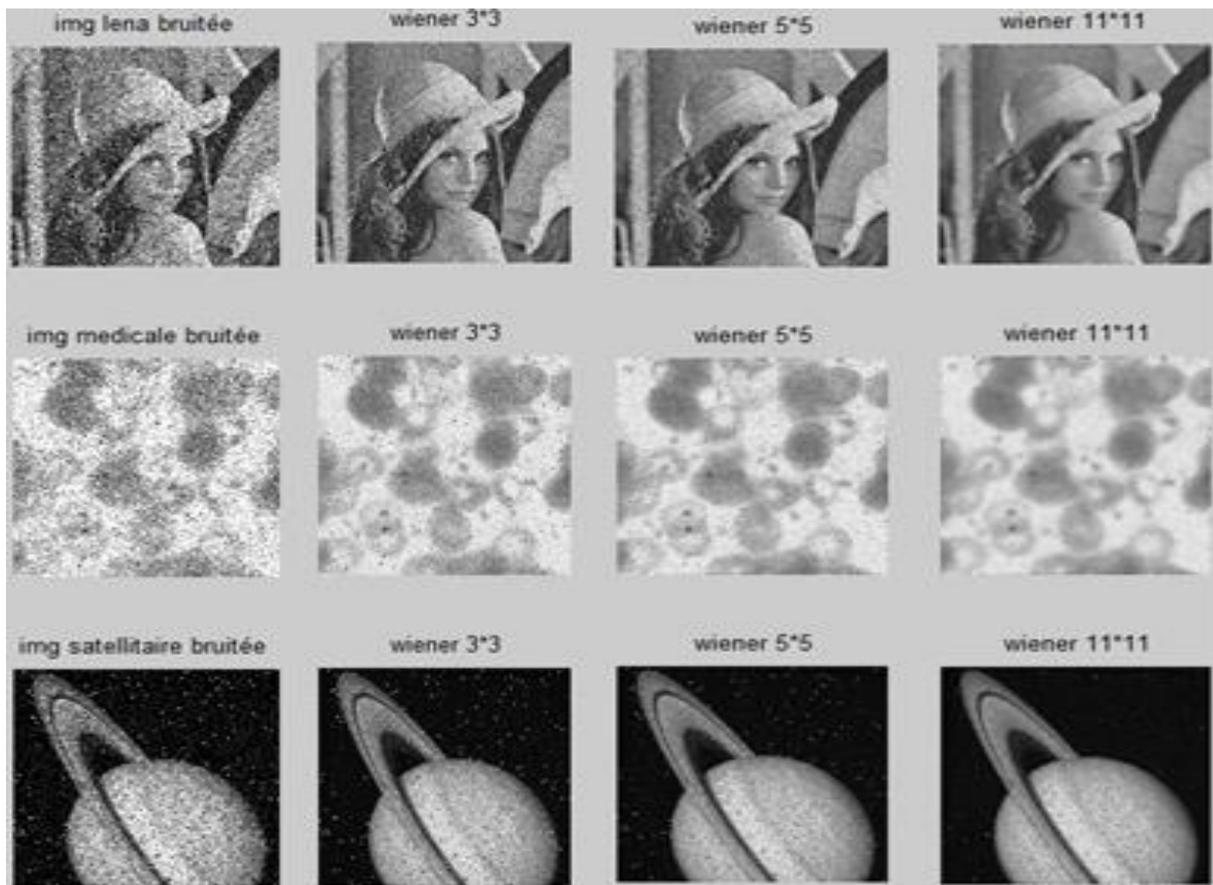


Figure III.14 : Résultats subjectifs du filtrage par trois masques Wiener pour 3 images bruitées par trois bruits simultanément.

### 5) Filtre par Ondelette

	Image Lena			Image médicale			Image satellitaire		
	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR
Image bruitée	0.0241	16.1710	8.4398	0.0312	15.0633	3.8848	0.0194	17.1131	16.0620
Image filtrée par ondelette n=2, haar, seuillage doux	0.0034	24.6236	22.2719	0.0050	22.9769	15.9328	0.0023	26.3877	36.8134
Image filtrée par ondelette n= 2, db4, seuillage doux	0.0026	25.9257	25.5332	0.0049	23.1387	16.5795	0.0021	26.6896	37.7126
Image filtrée par ondelette n= 2, dmev, seuillage doux	0.0024	26.1430	26.0242	0.0049	23.0584	16.2177	0.0022	26.6617	37.5730

Tableau IV.13 : Résultats du filtrage par trois familles d'ondelettes pour 3 images bruitées par trois bruits simultanément.

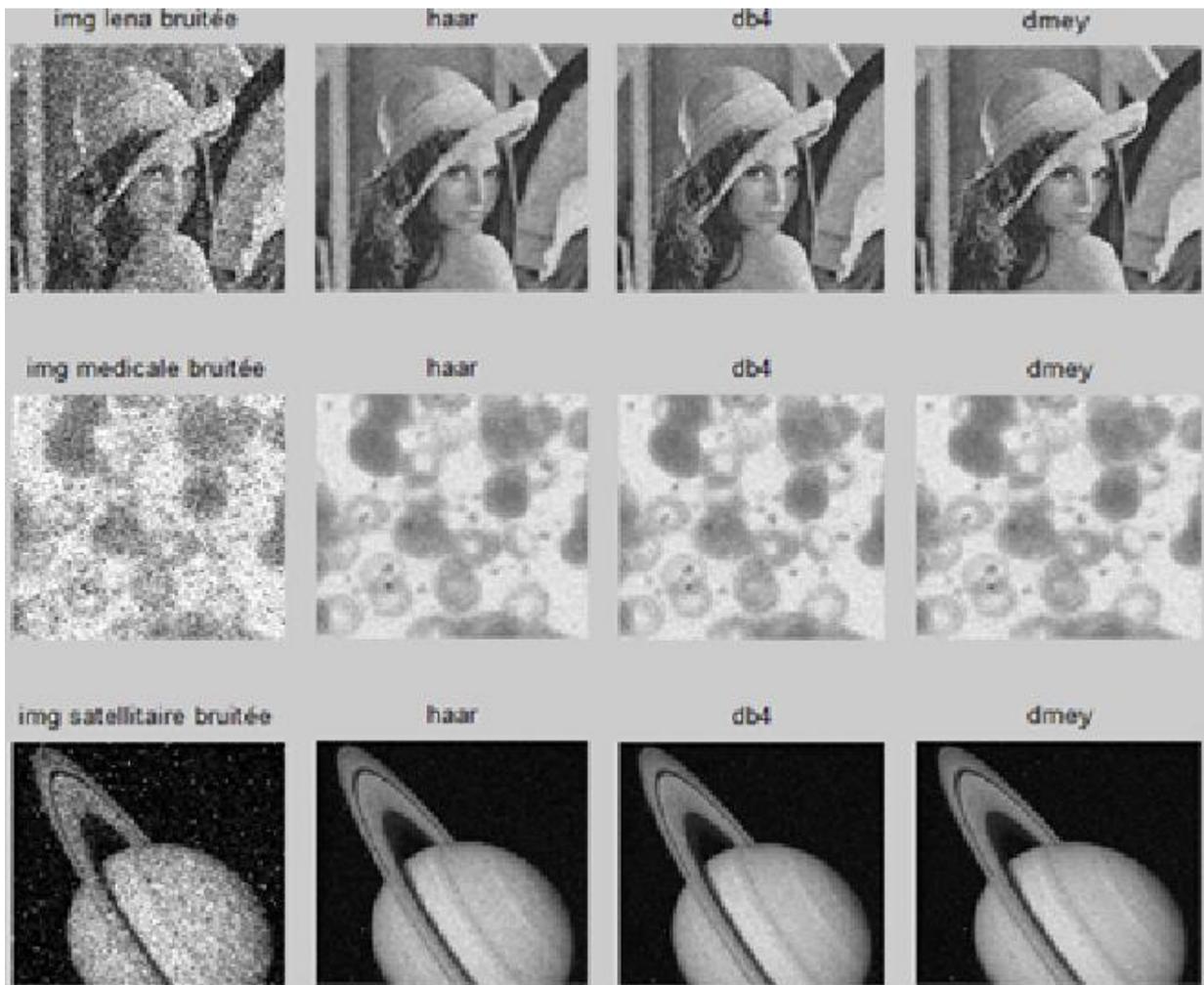


Figure IV.15 : Résultats subjectifs du filtrage par trois familles d'ondelettes pour 3 images bruitées par trois bruits simultanément.

#### IV.3.2.2. Discussion sur les cinq filtres utilisés

- **Image photographique**

##### 1) Filtre median

Les masques  $11 \times 11$  et  $5 \times 5$  donnent de bons résultats statistiques mais visuellement il y a une perte d'information sur l'image filtrée par le masque  $11 \times 11$  avec un effet de flou. Les meilleurs résultats sont obtenus par le masque  $5 \times 5$ .

##### 2) Filtre de Nagao

Le filtre de Nagao effectue des mesures statistiques négligeables, avec apparition de l'effet de flou et l'effet de bloc, mais il améliore le contraste de l'image.

### 3) Filtre Gaussien

Statistiquement et visuellement le masque 5\*5 donne les meilleurs résultats sur l'image de Lena bruitée.

### 4) Filtre Wiener

Le masque 5\*5 donne les meilleurs résultats statistiques et visuels par rapport aux autres masques.

### 5) Filtre par ondelettes

L'ondelette mère de discret Meyer fournit les meilleurs résultats sur l'image photographique bruitée.

- **Images médicale**

#### 1) Filtre median

Les masques 11\*11 et 5\*5 donnent de bons résultats statistiques mais visuellement il y a une perte d'information sur l'image filtrée par le masque 11\*11 avec un effet de flou. Les meilleurs résultats sont obtenus avec le masque 5\*5.

#### 2) Filtre de Nagao

Le filtre de Nagao effectue des mesures statistiques négligeables, avec apparition de l'effet de flou et de bloc, mais il améliore le contraste de l'image.

#### 3) Filtre Gaussien

Le masque 5\*5 est le meilleur en termes résultats statistiques et visuels.

#### 4) Filtre Wiener

Les meilleurs résultats sont obtenus avec le masque 11\*11 statistiquement et visuellement.

#### 5) Filtre par ondelettes

L'ondelette mère de Daubechies 4 fournit de bons résultats par rapport aux autres ondelettes mères.

- **Image satellitaire**

### 1) Filtre median

Les masques 11\*11 et 5\*5 donnent les meilleurs résultats statistiques mais visuellement il y a une perte d'information sur l'image filtrée par le masque 11\*11 avec un effet de flou.

### 2) Filtre de Nagao

Le filtre de Nagao donne des mesures statistiques négligeables, avec apparition de l'effet de flou et de l'effet de bloc, mais il améliore le contraste de l'image.

### 3) Filtre Gaussien

Le masque 5\*5 du filtre gaussien donne les meilleurs résultats statistiques et visuels.

### 4) Filtre Wiener

Pour ce filtre, le masque qui fournit les meilleurs résultats statistiques et visuels est le masque 11\*11.

### 5) Filtre par ondelettes

La meilleure ondelette mère qui donne des bons résultats est l'ondelette de Daubechies 4.

#### IV.3.3. Etude 03 : Etude de cinq filtres sur l'image Lena bruitée par un bruit aléatoire

Nous avons utilisés une instruction « randn » sous matlab pour bruite l'image de Lena avec un bruit aléatoire, l'expérience réalisée et les résultats sont résumés dans les tableaux suivants :

Image bruitée avec $\sigma=0.2$	
MSE	0.0401
PSNR	13.967
SNR	6.266

Tableau IV.14 : Mesures de qualités de l'image de Lena bruitée par un bruit aléatoire de  $\sigma=0.2$ .

	Median			Nagao			Gaussien			Wiener		
	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR	MSE	PSNR	SNR
Masque 3*3	0.0072	21.445	17.255				0.0062	22.074	18.636	0.0074	21.285	17.084
Masque 5*5	0.0037	24.311	22.565	0.0110	19.570	13.762	0.0053	22.767	19.960	0.0036	24.467	23.047
Masque 11*11	0.0042	23.801	20.146				0.0053	22.729	19.852	0.0032	24.899	22.781

Tableau IV.15 : Mesure de la qualité du filtrage de l’image Lena bruitée par un bruit aléatoire en utilisant 4 filtres avec trois masques.

	MSE	PSNR	SNR
Image bruitée	0.0401	13.967	6.266
Image filtrée par ondelette n=2, haar, seuillage doux	0.0044	23.608	20.967
Image filtrée par ondelette n= 2, db4, seuillage doux	0.0035	24.586	23.5175
Image filtrée par ondelette n= 2, dmey, seuillage doux	0.0034	24.724	23.864

Tableau IV.16 : Mesure de la qualité du filtrage par ondelettes sur l’image Lena bruitée par un bruit aléatoire utilisant trois masques.



Figure IV.16 : Etude subjective de l’efficacité des cinq filtres sur un bruit aléatoire.

1) **Filtre Median**

Le masque qui donne les meilleurs résultats est le masque  $5*5$ . Si le masque utilisé est de grande taille, les images obtenues seront floues.

## 2) Filtre de Nagao

Malgré les mauvaises améliorations sur le débruitage de ce filtre, néanmoins, il améliore le contraste.

## 3) Filtre Gaussien

Le meilleur masque qui donne les meilleurs résultats est le masque  $5*5$ .

## 4) Filtre Wiener

Les masques  $5*5$  et  $11*11$  donnent de bons résultats statistiques. Pour l'effet de flou et de bords, le meilleur masque est de taille  $5*5$ .

## 5) Filtre par ondelettes

Les meilleurs résultats statistiques et visuels sont ceux obtenus par l'ondelette mère de Discret Meyer.

- ✚ D'après tous les résultats obtenus nous avons remarqué que les meilleurs sont ceux du masque  $5*5$  et de l'ondelette mère de Discret Meyer.
- ✚ Le filtre par ondelettes et le filtre median atténuent le bruit presque de la même quantité. Mais le meilleur qui préserve les détails est le filtrage par ondelettes. Pour l'image photographique l'ondelette la plus efficace est celle de Discret Meyer, et pour les autres images c'est celle de Daubechies 4.

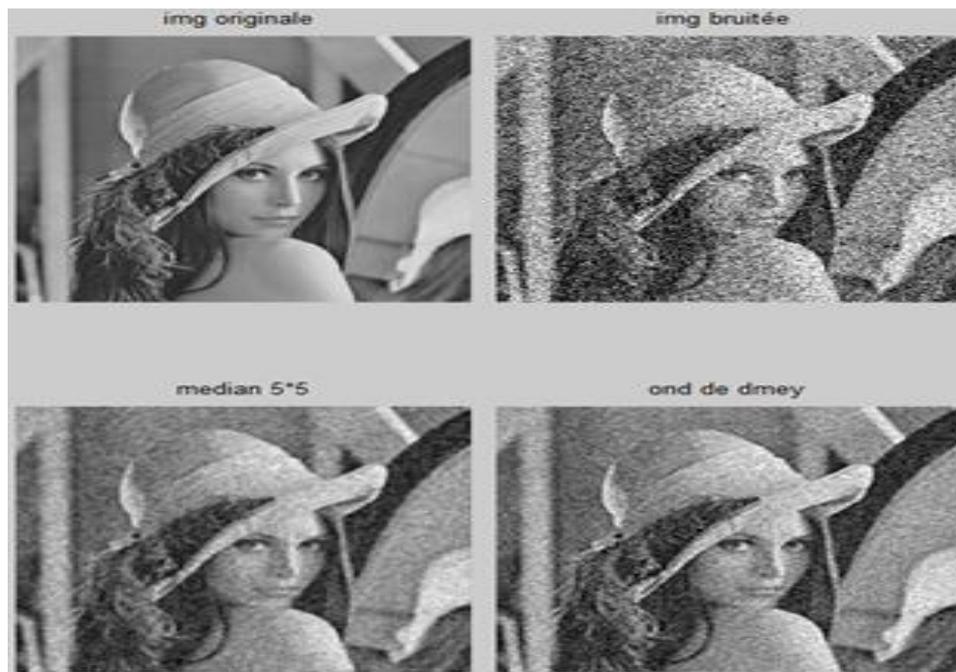


Figure IV.17 : Comparaison entre le filtre median et le filtre d'ondelette mère de Discret Meyer.

#### IV.4. Conclusion

L'exécution des filtres est évaluée en utilisant les paramètres statistiques (qualité objective) et la qualité visuelle (subjective). Les résultats de comparaison prouvent que : les filtres qui donnent les meilleurs résultats sont le filtre median et le filtrage par ondelettes. Précisément ce dernier est le filtre le plus performant, avec une meilleure préservation des détails et des bords.

# *Conclusion générale*

### **Conclusion générale**

L'image constitue l'un des moyens les plus importants utilisée dans le domaine de la communication. Mais, pour que la communication soit facile, l'image doit être nette afin de l'interpréter correctement. Pour la rendre nette nous avons utilisé le filtrage.

Notre travail consistait à effectuer plusieurs expériences afin d'évaluer les performances de quelques filtres, à savoir : Median, Nagao, Gaussien, Wiener et le filtre d'ondelette, dans le but de proposer le meilleur filtre d'après des résultats statistiques et visuels.

Il est difficile de choisir une méthode de filtrage pour un type de bruit. Certains filtres sont adaptés pour un type de bruit et d'autres pour d'autres types de bruits. Nous avons présenté dans le dernier chapitre trois études : Une étude sur le filtrage d'une image photographique bruitée, une étude sur le filtrage trois images de natures différentes, et bruitées par trois bruits simultanément. Enfin une étude de cinq filtres sur une image affectée par un bruit aléatoire.

De nombreuses expérimentations ont été effectuées. Les résultats des différents filtres ont été comparés. Des critères quantitatifs ont été utilisés pour mesurer les performances tel que : PSNR, SNR et MSE et la qualité visuelle. Ceux-ci ont montré que le filtrage par Ondelette apporte une meilleure précision dans le lissage et la préservation des structures des images. L'évaluation de ce filtre montre qu'il fournit des résultats meilleurs que ceux obtenus par les autres filtres testés.

Dans les travaux futurs, nous pouvons songer à combiner plusieurs filtres pour tirer profit des avantages de chaque filtre afin d'améliorer encore la qualité du filtrage.

# *Bibliographie*

# Bibliographie

- [1] G. BUREL, « *Introduction au traitement d'images* », Edition Hermès Octobre 2001.
- [2] S. A. DRURY, « *Image interpretation in geology, Tome 1* », Chapman and Hall second Edition 1993.
- [3] C.ACARD, « *cour de traitement d'images* » sur la base de cour de J.Devars et M.Miligram, 2002/2003.
- [4] A. KERIOUI et M. DJANI, « *Application des réseaux de neurones à la compression d'images* », mémoire de fin d'étude d'ingénieur, Editions 1998.
- [5] A. MARION, « *Introduction aux techniques de traitement d'images* », Editions Eyrolles. Paris, 1987.
- [6] A. BOUKHECHEBA et F. K BOUKHECHEBA, « *Contribution à la segmentation en régions par une approche neuronale, dans le cadre de la stéréovision par région* », mémoire de fin d'étude d'ingénieur, Editions 1996.
- [7] M.BERGOUNIOUX, « *Traitement du Signal et de l'Image - M1 semestre 2* », MAPMO - Université d'Orleans, 7 fevrier 2016.
- [8] A. HAMMADI et A. SAIDANI, « *Segmentation d'images couleurs par les réseaux de neurones à application compétitif* », mémoire de fin d'étude d'ingénieur, Editions 2001.
- [9] W.FOURATI et M. S. BOUHLEL, « *Techniques de Débruitage d'Images* », TUNISIA. March 22-26, 2009.
- [10] H.ATTOUCH, G.BUTTAZZO et G.MICHAILLE, « *Variational analysis in Sobolev and BV spaces* », MPS-SIAM Series on Optimization, 2006.
- [11] L.BEAUREPAIRE, J-M.OGIER et K.CHEHDI, « *Identification aveugle d'images dégradées par un bruit additif ou multiplicatif* » SEIZIÈME COLLOQUE GRETSI— 15-19 Septembre, GRENOBLE.1997.
- [12] L. DIANE, « *cours de traitement image* », ISRN13S/RR\_2004-05-FR.
- [13] H. Maître et al. « *Le traitement des images* ». Lavoisier, 2003.
- [14] J. SALMON, « *Agrégation d'estimateurs et méthodes a patch pour le débruitage d'images numériques* », thèse doctorat, Université Paris-Diderot - Paris VII Dec 2010.
- [15] CH. BONCELET, « *Image Noise Models* », in Alan C.Bovik. Handbook of Image and Video Processing, 2005.

- [16] I.SINGH et N.NEERU, « *Performance Comparison of Various Image Denoising Filters Under Spatial Domain*», International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 96-No.19, June 2014.
- [17] A. S. ZIANOU, «*Evaluation de la qualité d'image*», Université de Mentouri – Constantine,These doctorat ,2012.
- [18]. S.S. AL-AMRI, N.V. KALYANKA et D A KHAMITKARS., «*Comparative Study of Removal Noise from Remote Sensing Image*», IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 7, Issue. 1, No. 1, January 2010
- [19] P.KAMBOJ et V.RANI, «*A Brief Study of Various Noise Model and filtering Techniques* », Journal of Global Research in Computer Science, Volume 4, No 4, pp.166- 171 , April 2013.
- [20] V. BARBU et TH. PRECUPANU, « *Convexity and Optimization in Banach Spaces*», Sijthoff & Noordhoff, Bucarest, 1978.
- [21] H. BREZIS, « *Analyse Fonctionnelle*», Masson, Paris, 1987.
- [22] S.ESAKKIRAJAN, T.VEERAKUMAR et S.JAYARAMAN, «*Digital Image Processing*», Tata McGraw Hill Publication, New Delhi, 2009.
- [23] Z.WANG et A. CORNADBOVIK, « *Image Quality Assessment: From Error Visibilty to structural similarity*», IEEE Transactions on Image Processing, vol. 13, no. 4, April 2004.
- [24] M. COSTER et J.L. CHERMANT, « *Précis d'analyse d'image* », Bordeaux,Edition 2001.
- [25] R.HORAUD et O.MONGA, « *Vision par ordinateur -outils fondamentaux* », Edition Hermès ,1995.
- [26] G.BLANCHET et M.CHARBIT, « *Signaux et images sous MATLAB*», Edition Hermès Science Publications, septembre 2001.
- [27] A BAROUDI et N.LARABI, « *Comparaison entre les différents filtres d'images*», Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen 2011-2012.
- [28] F. LE POULIQUEN, M. NAJIM, « *Filtre Adaptatif 2-D pour la Restauration d'images perturbées par du Bruit Impulsionnel*», Dix-septième colloque GRETSI, Vannes, 13-17 septembre 1999.
- [29] LEKELAND et R.TEMAM, « *Analyse convexe et problèmes variationnels*», Dunod, Paris, 1973.
- [30] S.HIMMAT. KUSHWAHA, SANJU TANWAR, K. S. RATHORE et S.SRIVASTAVA, « *De-noising Filters for TEM (Transmission Electron Microscopy) Image of*

*Nanomaterials*», Second International Conference on Advanced Computing & Communication Technologies, 2012.

- [31] M.ARUN ANOOP, « Image Noise and Edge Filtering - A Survey, Analysis using MATLAB», International Journal of Computing and Technology, Volume 3, Issue 8, August 2016.
- [32] C.CHAUX, «Analyse en ondelettes M-bandes en arbre dual; application à la restauration d'images», These. Université de Marne la Vallée, 2006.
- [33] I.DAUBECHIES, «Ten lectures on Wavelets». CBMS-NSF Reg. Conf. Series in Applied Math. SIAM. 1992.
- [34] S.MALLAT. «A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation». IEEE Trans. Pat. Anal. Mach. Intell. 11 :674-693 ,1989.
- [35] A. ISAR et S.MOGA, «le débruitage des images sonar en utilisant la transformée en ondelettes à diversité enrichi», Lussi- TR-2004-5-FR.
- [36] A.COHEN, «Ondelettes et traitement numérique du signal», Edition Masson, Paris, (1992).
- [37] F.TRUCHETET, «Ondelettes pour le signal numérique», Edition Hermès, Paris, (1998).
- [38] Y.MISITI, OPPENHEIM G.POGGI J. M., «Les ondelettes et leurs applications», Edition Hermès, Paris, 2003.
- [39] M.A. RAKOTOMALALA et S. RAKOTOMIRAHO, «Débruitage par seuillage des coefficients d'ondelettes», Université d'Antananarivo, École Supérieure Polytechnique, Afrique Science 06(3) (2010) 103 – 120.
- [40] C.STEIN, «Estimation of the mean of multivariate normal distribution», Annals of statistics», 9 (1994)195-211.