

*République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique*

## **Université 08 Mai 45 de Guelma**

**Faculté des Mathématiques et de l'Informatique et des Sciences de la Matière**

**Département d'Informatique**



### **Mémoire de Magister**

Spécialité : **Informatique**

Option : **IA**

Présenté par : **Mr. Djamaleddine TOUAHRI**

---

## **Détection et suivi des cibles mobiles à partir d'images radar**

---

### **JURY**

<b>Président</b>	<b>: Pr. Hamid SERIDI</b>	<b>Université de Guelma</b>
<b>Rapporteur</b>	<b>: Dr. Bornia TIGHIOUART</b>	<b>Université d'Annaba</b>
<b>Examineur</b>	<b>: Dr. Layachi BENNACER</b>	<b>Université d'Annaba</b>
<b>Examineur</b>	<b>: Dr. Tahar BOUHADADA</b>	<b>Université d'Annaba</b>

---

**2011**

---

# Remerciements

Merci mon Dieu de me donner la bonne santé, l'espoir, la force et la patience pour avoir mené à bien mon mémoire de magistère.

Je tiens à remercier très sincèrement mon encadreur Madame **Tighiouart** (U. Annaba) pour m'avoir dirigée, pour sa disponibilité et son encouragement durant la réalisation de ce travail de magister.

Mes remerciements sont adressés à Monsieur **H. Seridi** pour tout l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury de soutenance.

Je tiens également à remercier vivement Monsieur **T. Bouhadada** du département d'informatique (U. Annaba) et Monsieur **L. Bennacer** du département d'électronique (U. Annaba) pour avoir accepté de donner de leurs temps et examiner ce travail en faisant partie du jury.

Je remercie également mes enseignants du département d'informatique qui ont assurés ma formation tout le long de mon cycle d'étude.

## **Résumé :**

Avec l'accroissement des activités, des techniques de surveillance de l'environnement sont mises en place dans le but de sécuriser notre vie. La nécessité de concevoir de nouveaux systèmes de surveillance plus fiable, rapide et à moindre coût reste toujours d'actualité.

Ce mémoire présente une approche de surveillance d'un environnement aérien par un radar militaire. Il s'agissait de déceler une cible mobile. Le suivi de sa trajectoire a été pris en considération.

L'approche proposée est constituée de quatre étapes. La première consiste à augmenter le contraste de l'image en appliquant une fonction de rehaussement des niveaux de gris, suivie par un filtre médian dans le but de réduire l'effet du bruit. La deuxième étape de détection du mouvement est basée sur le principe de différence d'images par rapport à une image de référence représentée par le « fond » en cas d'absence de cible. La troisième est une étape de localisation réalisée par une fonction basée sur l'algorithme d'étiquetage en composante connexe.

En fin, le suivi dans le temps du changement des coordonnées du centre de gravité de la cible par rapport aux coordonnées de la boîte englobant, et déterminer sa trajectoire.

**Mots clés :** Imagerie radars, reconnaissance des formes, segmentation en régions, suivi spatio-temporel d'indices visuels.

## **Abstract**

Because of increased activities, environmental monitoring techniques are used in order to secure our life. The need to develop new monitoring systems more reliable, faster and cheaper is still valid.

This paper presents an approach to monitoring of air environment by military radar that was to detect a moving target. Monitoring its trajectory has been considered too.

The proposed approach consists of four steps. The first one is to increase image's contrast by applying a feature enhancement of grayscale, followed by a median filter in order to reduce noise's effect. The second step of motion detection based on frame difference with a reference image illustrated by the « bottom ». The third step is localization, it performed by a function based on the connected component labeling algorithm.

Finally, monitoring change over time coordinates of the target's gravity center, according to the bounding box coordinates, and complete trajectory.

**Key words:** Imaging radar, Pattern Recognition, region segmentation, Monitoring spatio-temporal of visual clues.

مع التزايد المستمر لمختلف الأعمال والنشاطات، تتبع الحاجة لوضع أنظمة مراقبة قيد العمل من أجل تأمين حياتنا اليومية، مما يستلزم البحث الدائم عن إنشاء أنظمة جديدة أكثر فعالية و أقل تكلفة.

هذه المذكرة تقدم دراسة تفصيلية لنظام مراقبة لمجال  
الأهداف المتحركة أخذين بعين الاعتبار تتبع مسار الهدف لحين خروجه من م

التقنية المقترحة تتكون من أربعة مراحل أساسية. المرحلة الأولى تعتمد على رفع مستوى تباين الصورة بالاعتماد على دالة خاصة الهدف منها إي متبوعة بعملية تنقية للصورة بواسطة مرشح وسطي من أجل التقليل من تأثير عامل التشويش. المرحلة الثانية هي مرحلة الحركة، حيث تعتمد أساساً على تطبيق مبدأ الفرق بين الصور بالنسبة لصورة مرجعية متمثلة في « الخلفية ». هي مرحلة تحديد مكان الهدف بالاعتماد على خوارزمية لتجميع النقاط المتجاورة و إعطاء رمز معين لكل منها.

و في الأخير تتبع التغيرات بدلالة الزمن لإحداثيات مركز ثقل الهدف المتحرك المتحصل عليها عن طريق حساب إحداثيات العتبة المحددة للهدف، وتحديد مساره.

: التصوير بالرادار،  
البصرية المكانية والزمنية

# Table des matières



# Table des matières

Résumé .....

Abstract.....

.....  
Introduction .....

## Chapitre I : Concepts de base sur les images numériques

I.1. Introduction.....	11
I.2. Définition de l'image .....	11
I.3. Le codage d'une image numérique.....	12
I.3.1. Le codage de l'information .....	12
I.3.2. Le codage des images .....	12
I.3.2.1. Codage d'une image en noir et blanc .....	12
I.3.2.2. Codage d'une image en niveaux de gris.....	13
I.3.2.3. Codage d'une image en couleurs .....	14
I.4. Les types des images numériques .....	15
I.4.1. Les images matricielles .....	16
I.4.2. Les images vectorielles .....	17
I.5. Eléments descriptifs des images numériques .....	18
I.5.1. L'histogramme.....	18
I.5.2. Contours et textures .....	19
I.5.3. Le contraste .....	19
I.5.4. Le bruit .....	19
I.6. Le prétraitement de l'image numérique .....	20
I.6.1. Le filtrage .....	20
I.6.1.1. Les filtres linéaires .....	20
I.6.1.2. Les filtres non linéaires .....	22
I.6.2. L'amélioration de contraste .....	24
I.6.2.1. L'égalisation de l'histogramme .....	24

I.6.2.2. Le rehaussement des niveaux de gris .....	25
I.6.3. Segmentation des images .....	27
I.7. Domaines d'application du traitement d'image.....	27
I.7.1. Imagerie aérienne et spatiale .....	27
I.7.2. Imagerie biomédicales.....	27
I.7.3. Robotique .....	28
I.8. Conclusion .....	28

## **Chapitre II : L'image radar**

II.1. Introduction .....	29
II.2. Qu'est ce qu'un système radar .....	29
II.2.1. Historique .....	29
II.2.2. Définition d'un radar .....	29
II.2.3. Le radar à synthèse d'ouverture .....	30
II.2.4. Notion de la télédétection .....	30
II.3. L'acquisition des images radar .....	32
II.4. Le chatoiement.....	33
II.5. La réponse spectrale .....	36
II.5.1. La réponse spectrale de la végétation .....	36
II.5.2. La réponse spectrale de l'eau .....	37
II.5.3. La réponse spectrale du sable ou le sol nu .....	38
II.6. L'amélioration des images radar .....	38
II.6.1. Les filtres heuristiques .....	39
II.6.2. Les filtres homomorphiques.....	39
II.6.3. Les filtres adaptatifs.....	42
II.6.4. Les filtres multirésolutions .....	44
II.7. Applications des images radar .....	45
II.8. Conclusion .....	47

## **Chapitre III : La détection des cibles mobiles**

III.1. Introduction .....	48
III.2. La notion du mouvement .....	48
III.3. Etat de l'art .....	48
III.3.1. Une classe de méthodes basées vitesse .....	49
III.3.2. Une classe de méthodes basées région .....	50
III.3.2.1. Méthode basé sur la différence par rapport à une image de référence .....	50
III.3.2.2. Méthode basé différence par rapport au fond .....	50
III.3.2.3. Méthode basé différence entre images successives .....	50
III.3.2.4. La différence par rapport au fond mobile.....	51
III.3.3. La modélisation markovienne.....	52
III.3.4. Les Filtres morphologiques .....	53
III.4. La différence d'image.....	54
III.5. Etiquetage en composante connexe .....	56
III.5.1. Notion de voisinage .....	56
III.5.2. Le chemin connexe.....	57
III.5.3. La composante connexe .....	57
III.5.4. L'algorithme d'étiquetage en composante connexe.....	58
III.6. Conclusion .....	59

## **Chapitre IV : Conception et réalisation**

IV.1. Introduction .....	60
IV.2. La démarche proposée.....	60
IV.2.1. Les données.....	61
IV.2.2. Le Prétraitement des images .....	62
IV.2.2.1. Le rehaussement des niveaux de gris.....	62
IV.2.2.2. Le filtrage médian .....	63
IV.2.3. La détection du mouvement .....	64
IV.2.4. L'étiquetage en composante connexe .....	66

IV.2.5. La localisation et le suivi de l'objet d'intérêt .....	66
IV.3. Résultats et critiques.....	66
IV.4. L'environnement de programmation.....	70
IV.4.1. Modes de fonctionnement.....	70
IV.4.2. Composants principaux.....	71
IV.5. Conclusion.....	72
<b>Conclusion et perspectives.....</b>	
<b>Références bibliographiques.....</b>	

# Liste des figures et tableaux



## Liste des figures :

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>N°.page</b>
<b>Fig I.1</b>	les éléments élémentaires de l'image.....	11
<b>Fig I.2</b>	image binaire.....	13
<b>Fig I.3</b>	image en niveaux de gris.....	13
<b>Fig I.4</b>	image codée en couleurs (24 bits).....	14
<b>Fig I.5</b>	image codée en couleurs (8 bits) .....	15
<b>Fig I.6</b>	histogramme et image FRUIT_LUMI.....	18
<b>Fig I.7</b>	exemple de détection de contour à partir d'une image.....	19
<b>Fig I.8</b>	exemple d'application d'un filtre moyenneur.....	21
<b>Fig I.9</b>	exemple d'un filtre passe-haut.....	21
<b>Fig I.10</b>	bruit traité par un filtre médian.....	23
<b>Fig I.11</b>	résultat de la squelettisation.....	23
<b>Fig I.12</b>	exemple d'histogrammes.....	24
<b>Fig I.13</b>	le nombre de pixels en fonction de l'intensité des cas différents des histogrammes.....	24
<b>Fig I.14</b>	exemple d'amélioration de contraste par égalisation d'histogramme.	25
<b>Fig I.15</b>	exemples des fonctions de rehaussement des niveaux de gris.....	26
<b>Fig I.16</b>	exemple d'application d'un masque laplacien.....	26
<b>Fig II.17</b>	principe de fonctionnement d'un radar à synthèse d'ouverture.....	30
<b>Fig II.18</b>	radar actif et radar passif.....	32
<b>Fig II.19</b>	le principe de fonctionnement du système radar.....	32
<b>Fig II.20</b>	image d'amplitude et d'intensité.....	33
<b>Fig II.21</b>	exemple d'image radar.....	34
<b>Fig II.22</b>	signature spectrale .....	36
<b>Fig II.23</b>	la réponse spectrale de la végétation.....	37
<b>Fig II.24</b>	la réponse spectrale de l'eau.....	38
<b>Fig II.25</b>	principe d'un filtre homomorphique.....	40
<b>Fig II.26</b>	exemple de résultat du filtre de lee.....	41
<b>Fig II.27</b>	principe d'un filtre adaptatif.....	42
<b>Fig II.28</b>	exemple de résultat du filtre de froste.....	43
<b>Fig II.29</b>	imagerie radar des glaciers.....	45
<b>Fig II.30</b>	image des zones inondées prise par radar.....	46

<b>Fig II.31</b>	imagerie radar des zones agricoles.....	46
<b>Fig III.32</b>	différence d'image par rapport à une image de référence.....	50
<b>Fig III.33</b>	différence d'images successives et Max.....	51
<b>Fig III.34</b>	différence d'images successives et ET.....	51
<b>Fig III.35</b>	l'érosion temporelle.....	54
<b>Fig III.36</b>	dilatation temporelle à t+4.....	54
<b>Fig III.37</b>	exemple différence entre deux images par XOR.....	55
<b>Fig III.38</b>	exemple de différence d'image par XOR et AND.....	56
<b>Fig III.39</b>	4-voisins et 8-voisins.....	56
<b>Fig III.40</b>	4-chemin.....	57
<b>Fig III.41</b>	8-chemin.....	57
<b>Fig III.42</b>	5 composantes de 4-connexes.....	57
<b>Fig III.43</b>	2 composantes de 8-connexes.....	57
<b>Fig IV.44</b>	approche proposée.....	61
<b>Fig IV.45</b>	rehaussement des niveaux de gris.....	63
<b>Fig IV.46</b>	l'effet de médian sur l'image radar.....	64
<b>Fig IV.47</b>	les coordonnées de la cible dans un repère 2D.....	66
<b>Fig IV.48</b>	couple1 des images ISAR.....	67
<b>Fig IV.49</b>	couple2 des images ISAR.....	67
<b>Fig IV.50</b>	résultats du prétraitement des images.....	67
<b>Fig IV.51</b>	images différence.....	68
<b>Fig IV.52</b>	représentation des composantes connexes.....	69
<b>Fig IV.53</b>	localisation et suivi de la cible.....	69
<b>Fig IV.54</b>	résultat final d'exécution du prototype.....	70
<b>Fig IV.55</b>	interface Matlab7.....	71
<b>Fig IV.56</b>	les composants de l'environnement Matlab7.....	71

## **Liste des tableaux :**

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>N° .page</b>
<b>Tab I.1</b>	quelques couleurs résultantes de la synthèse additive.....	14
<b>Tab I.2</b>	les principaux formats des images.....	17
<b>Tab IV.3</b>	la combinaison des valeurs logiques par XOR.....	65
<b>Tab IV.4</b>	la combinaison des valeurs logiques par XOR et AND.....	65

# Introduction générale



## **Introduction**

Le problème de la surveillance d'environnement est l'un des grands axes de recherche d'actualité. Il a suscité un vif intérêt de la communauté scientifique. Ce dernier s'il n'est pas pris en charge affecte de façon directe la sécurité de tous les pays du monde. La masse importante de matériel et logiciel ainsi que les moyens humains nécessaires pour satisfaire tel type d'objectifs exige un budget énorme.

Dans le domaine militaire, la surveillance par radar a bénéficié à son tour d'une grande partie des applications. Ces applications concernent entre autres la surveillance des zones interdites. La majorité des solutions sont basées sur des contraintes matérielles ce qui affecte de façon directe le côté financier donc l'aspect économique de façon générale.

Des systèmes assez complexes sont mis en place dans le but de détecter et suivre des cibles en mouvement dans des zones complexes (montagnes, zones urbains...etc.), ainsi que des zones de nature simple (mer, désert, air). Le concept de traitement d'image est le noyau de tout système de tel type.

Avec la progression exponentielle du stock d'armement du monde, surtout les armes aériennes représentées par les avions de chasse, de nouvelles approches plus fiable et moins coûteuses sont nécessaires.

L'objectif de notre travail est de proposer une approche efficace, qui a pour but de détecter et suivre une cible aérienne dans une zone surveillée par un radar terrestre fixe. Elle se base sur la proposition d'une démarche dans laquelle quatre aspects sont pris en charge :

- la qualité de l'image,
- l'existence d'un mouvement dans la zone de flash radar,
- la localisation de la cible en mouvement,
- enfin le suivi de cette cible.

Ce qui exige de faire appel à des concepts d'amélioration de l'image, de vérification d'existence du mouvement et d'étiquetage en composantes connexes.

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres.

Le premier chapitre porte sur la présentation des concepts de base du domaine de traitement d'images numérique ainsi que des méthodes d'amélioration de l'aspect visuel et la segmentation de ces images.

Le deuxième chapitre s'intéresse à la présentation et à la description d'un type particulier d'images numériques à savoir les images radar.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation des classes de techniques de détection du mouvement ainsi que des principes d'étiquetage en composante connexe. Ce chapitre peut être considéré comme un état de l'art sur les techniques utilisées.

Dans le quatrième chapitre nous présentons l'approche proposée. Les différentes étapes de cette approche sont décrites et justifiées.

Enfin, une partie implémentation est réalisée et critiquée.

Nous terminons ce mémoire par une conclusion et quelques perspectives de ce travail.

# Chapitre I :

## Concepts de base sur les images numériques



## I.1. Introduction

Avec la parole, l'image constitue l'un des moyens les plus importants qu'utilise l'homme pour communiquer avec autrui. La richesse du contenu permet aux êtres humains de tout âge de se comprendre. Chacun peut analyser l'image à sa manière, pour en extraire des informations précises.

Le traitement d'images est l'ensemble des méthodes et techniques opérant sur celles-ci, dans le but d'améliorer l'aspect visuel de l'image et d'en extraire des informations jugées pertinentes de façon automatique.

## I.2. Définition de l'image

L'image est une représentation d'un objet par la peinture, la sculpture, le dessin, la photographie, le film, ...etc. C'est aussi un ensemble structuré d'informations ayant une signification pour l'œil humain [MAR87].

Contrairement aux images obtenues à l'aide d'un appareil photo, ou dessinées sur du papier, les images manipulées par un ordinateur sont numériques.

La numérisation d'une image est la conversion de celle-ci de son état analogique en une image numérique représentée par une matrice bidimensionnelle de valeurs numériques.

L'image numérique alors est l'image dont la surface est divisée en éléments de tailles fixes appelés cellules ou pixels. Le mot «Pixel» c'est une contraction de l'expression anglaise « picture éléments », éléments d'image. C'est le plus petit point de l'image, c'est une entité calculable qui peut recevoir une structure et une quantification. Si le bit est la plus petite unité d'information que peut traiter un ordinateur, le pixel est le plus petit élément que peuvent manipuler les matériels et logiciels d'affichage ou d'impression [HAD97].

Dans la figure [fig I.1], la lettre A peut être affichée comme un groupe de pixels.



**Figure I.1:** les éléments élémentaires de l'image

Chaque pixel ayant comme caractéristique un niveau de gris ou de couleurs prélevé à l'emplacement correspondant dans l'image réelle, ou calculé à partir d'une description interne de la scène à représenter [GON77].

La dimension d'une image peut être définie comme la taille de la matrice qui contient les valeurs numériques représentatives des intensités lumineuses des pixels. Le nombre de lignes de cette matrice multiplié par le nombre de colonnes nous donne le nombre total de pixels dans une image [HAD 97].

### I.3. Le codage d'une image numérique

#### I.3.1. Le codage de l'information

L'information est codée en binaire. Le support évolue mais le principe est toujours le même : un même élément peut se trouver dans deux états différents stables. Il constitue une mémoire élémentaire ou bit. Conventionnellement on attribue le symbole 0 à l'un de ces deux états et le symbole 1 à l'autre.

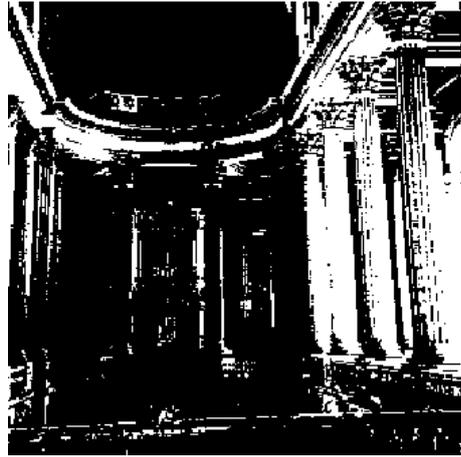
- A l'aide de 1 bit on a donc 2 possibilités 0/1.
- A l'aide de 2 bits on a  $2 \times 2 = 4$  possibilités : 00/01/10/11.
- A l'aide de 3 bits on a  $2 \times 2 \times 2 = 8$  possibilités : 000/001/010/011/100/101/110/111
- A l'aide de 8 bits on a  $2 \times 2 = (2)^8 = 256$  possibilités.
- Avec 16 bits ou 2 octets on a  $(2)^{16} = 256 \times 256 = 65536$  possibilités.

#### I.3.2. Le codage des images

C'est la structure dans laquelle l'image est stockée, les types de codage varient selon l'espace mémoire nécessaire. De façon générale, nous observons un rapport direct entre la taille de chaque type de codage et la qualité visuelle de l'image.

##### I.3.2.1. Codage d'une image en noir et blanc

Pour ce type de codage, chaque pixel est soit noir, soit blanc [fig I.2]. Il faut un bit pour coder un pixel : (0 pour noir, 1 pour blanc). L'image de 10000 pixels codée occupe donc 10000 bits en mémoire.



**Figure I.2:** image binaire

Ce type de codage peut convenir pour un plan ou un texte mais on voit ses limites lorsqu'il s'agit d'une photographie.

### **I.3.2.2. Codage d'une image en niveaux de gris**

Si on code chaque pixel sur 2 bits on aura 4 possibilités (noir, gris foncé, gris clair, blanc). L'image codée sera très peu nuancée.

En général on code chaque pixel sur 8 bits. On a alors 256 possibilités (256 niveaux de gris).

L'image [fig I.3] de 10 000 pixels occupe alors 10 000 octets en mémoire.



**Figure I.3:** image en niveaux de gris

### I.3.2.3. Codage d'une image en couleurs

#### a. Le codage RVB

Il existe plusieurs modes de codage de la couleur. Le plus utilisé est le codage Rouge, Vert, Bleu (RVB). Chaque couleur est codée sur 1 octet. Chaque pixel sur 3 octets : le rouge de 0 à 255, le vert de 0 à 255, le Bleu de 0 à 255.

Le principe repose sur la synthèse additive des couleurs : on peut obtenir une couleur quelconque par addition de ces 3 couleurs primaires en proportions convenables.

On obtient ainsi  $256 \times 256 \times 256 = 16777216$  (plus de 16 millions de couleurs différentes).

Couleur	noir	bleu pâle	vert pâle	rose	bleu	vert	Rouge	Blanc
<b>R</b>	<b>0</b>	<b>120</b>	<b>120</b>	<b>150</b>	<b>120</b>	<b>120</b>	<b>255</b>	<b>255</b>
<b>V</b>	<b>0</b>	<b>120</b>	<b>150</b>	<b>120</b>	<b>120</b>	<b>255</b>	<b>120</b>	<b>255</b>
<b>B</b>	<b>0</b>	<b>150</b>	<b>120</b>	<b>120</b>	<b>255</b>	<b>120</b>	<b>120</b>	<b>255</b>

**Tableau I.1:** quelques couleurs résultantes de la synthèse additive

L'image [fig I.4] de 10000 pixels ainsi codée occupe  $10000 \times 3 = 30000$  octets.



**Figure I.4:** image codée en couleurs (24 bits)

Dans le cas d'une image de 10 cm x 10 cm avec une résolution de 100 pixels par cm, elle est codée sur  $1000 \times 1000 = 1\,000\,000$  pixels.

Elle occupe : en noir et blanc : 1 000 000 bits = 125 000 octets, en 256 niveaux de gris : 1 million d'octets, en couleurs (24bits) : 3 millions d'octets. C'est ce codage de la couleur qui est utilisé par la plupart des écrans d'ordinateurs actuellement.

On constate qu'il est très gourmand en mémoire. Pour faciliter le stockage des images en mémoire on utilise d'autres formes de codage.

### **b. Le codage en couleurs 8 bits**

Dans ce cas on attache une palette de 256 couleurs à l'image. Ces 256 couleurs sont choisies parmi les 16 millions de couleurs de la palette RVB. Pour chaque image un programme recherche les 256 couleurs les plus pertinentes. Chaque code (de 0 à 255) désigne une couleur.

L'image occupe trois fois moins de place en mémoire qu'avec un codage 24bits. L'image [fig I.5] est moins nuancée.



**Figure I.5:** image codée en couleurs (8 bits)

## **I.4. Les types des images numériques**

Il existe deux types d'images utilisées en informatique : images matricielles et images vectorielles.

### **I.4.1. Les images matricielles**

Les images matricielles (ou bitmap) sont bâties sur une grille de points, chaque point portant des informations de position et de couleur. Elles sont représentées selon les différents formats suivants : BMP, PCX, GIF, JPEG, TIFF, ... etc.

Les images matricielles sont de bonne qualité. Elles sont enregistrées pixel par pixel (format bmp) et peuvent être très encombrantes en mémoire ce qui engendre un problème de volume en mémoire, mais aussi de difficulté lors des traitements : plus une image est "lourde", plus elle nécessite de ressources matérielles et surtout pour les transferts de données, en particulier sur l'internet. Pour réduire la place occupée en mémoire, on utilise divers algorithmes de compression et donc différents formats de stockage.

Lors du chargement de l'image, un logiciel reconnaissant le format du fichier le décompresse à l'ouverture. Lors de son utilisation le fichier est donc décompressé.

Le tableau (Tab I.2) représente les caractéristiques relatives aux différents formats cités :

<b>Format</b>	<b>Compression des Données</b>	<b>Nbr de couleurs</b>	<b>Affichage progressif</b>	<b>Usage</b>
<b>BMP</b>	Non compressé	de 2 à 16 millions	Non	Image non dégradée mais très lourde en stockage.
<b>JPEG</b>	Réglable, avec perte de qualité. Plus la compression est importante, plus l'image est dégradée.	16 millions	Oui	Tous usages, Images "naturelles".
<b>GIF</b>	Oui, sans perte de Qualité	de 2 à 256 avec palette.	Oui	Logos et Internet. Supporte les animations et la transparence.
<b>TIFF</b>	Réglable, au choix sans perte ou avec perte de qualité	16 millions	Non	Tous sauf Internet
<b>PNG</b>	Oui, sans perte de Qualité	de 2 à 256 ou 16 millions	Oui	Tous, recommandé Internet mais incompatible avec les navigateurs anciens. Supporte la transparence.

**Tableau I.2:** les principaux formats des images

#### **I.4.2. Les images vectorielles**

Les images vectorielles sont composées de lignes et courbes calculées mathématiquement (équations vectorielles). Ces images sont générées par exemple par des logiciels de dessin.

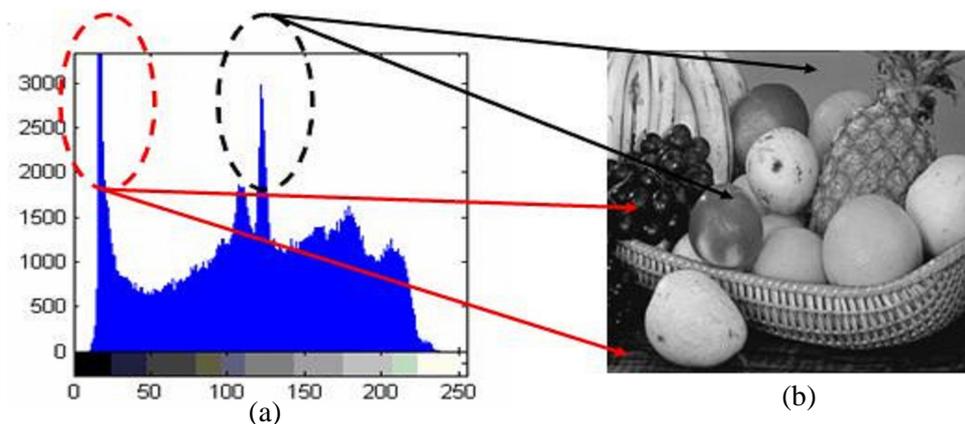
Les cliparts (livrés avec Msworks, Word, Publisher et Open Office) sont des images vectorielles. Elles sont représentées selon les différents formats suivants: WMF, CGM, ...etc. Ce type d'image est léger, à modifications aisées, et peut être transformé en un format bitmap. On parle aussi de polices vectorielles. Les lettres sont définies de la même manière.

## I.5. Éléments descriptifs des images numériques

Les images numériques possèdent certaines caractéristiques qu'on peut utiliser dans les différents traitements.

### I.5.1. L'histogramme

L'histogramme des niveaux de gris [fig I.6.a] ou des couleurs d'une image est une fonction qui donne la « fréquence » d'apparition de chaque niveau de gris (couleur).



**Figure I.6:** Histogramme et image FRUIT\_LUMI

L'histogramme permet de donner un grand nombre d'informations sur la distribution des niveaux de gris (couleur) et de voir entre quelles bornes est répartie la majorité des niveaux de gris (couleur) dans les cas d'une image trop claire ou d'une image trop foncée.

Il peut être utilisé pour améliorer la qualité d'une image en introduisant quelques modifications, pour pouvoir extraire les informations utiles de celle-ci, Pour diminuer l'erreur de quantification, pour comparer deux images obtenues sous des éclairages différents, ou encore pour mesurer certaines propriétés sur une image, on modifie souvent l'histogramme correspondant [KUN 93] [GON 77].

### I.5.2. Contours et textures

Les contours représentent la frontière entre les objets de l'image, ou la limite entre deux pixels dont les niveaux de gris représentent une différence significative [GER91]. Les textures décrivent la structure de ceux-ci. L'extraction de contour [fig I.7.b] consiste à identifier dans l'image les points qui séparent deux textures différentes [KUN93].



**Figure I.7:** exemple de détection de contour a partir d'une image

### I.5.3. Le contraste

C'est l'opposition marquée entre deux régions d'une image, plus précisément entre les régions sombres et les régions claires de cette image. Le contraste est défini en fonction des luminances de deux zones d'images [TAB96].

Si  $L_1$  et  $L_2$  sont les degrés de luminosité respectivement de deux zones voisines  $A_1$  et  $A_2$  d'une image, le contraste  $C$  est défini par le rapport :

$$C = \frac{L_1 - L_2}{L_1 + L_2}$$

### I.5.4. Le bruit

C'est un phénomène qui affecte toutes les images numériques. Il a un effet négatif qui touche principalement l'aspect visuel de l'image.

Un bruit dans une image est considéré comme un phénomène de brusque variation de l'intensité d'un pixel par rapport à ses voisins. Il provient de l'éclairage des dispositifs optiques et électroniques du capteur [GON77].

## I.6. Le prétraitement de l'image numérique

Dans le but d'extraire les informations pertinentes, l'image peut subir un ensemble de processus d'amélioration qui ont comme objectif de limiter l'impact des informations suspectes, et rendre plus claire les informations dégradées ce qui facilite ensuite la tâche de segmentation.

### I.6.1. Le filtrage

C'est une techniques d'amélioration des images, elle consiste à appliquer des transformations sur les intensités lumineuses des pixels en tenant compte de son voisinage [AMR09], elle cherche à rendre homogène les pixels de la même région, ce qui a pour objectif d'améliorer la qualité de l'image.

Il existe de nombreux types de filtres. On peut les classés selon leurs opérations appliqués sur l'image en deux classes :

#### I.6.1.1. Les filtres linéaires

Un filtre est dit linéaire si la valeur du nouveau pixel est une combinaison linéaire des valeurs des pixels du voisinage [XAV07]. Deux classes sont distinguées pour ce filtre :

##### a. Les filtres passe-bas

Les filtres passe-bas, consistant à atténuer les composantes de l'image ayant une fréquence haute (pixels foncés). Ce type de filtrage est généralement utilisé pour atténuer le bruit de l'image, c'est la raison pour laquelle on parle habituellement de lissage. Les filtres moyennes sont un type de filtres passe-bas dont le principe est de faire la moyenne des valeurs des pixels avoisinants. Le résultat de ce filtre [fig I.8.b] est une image plus floue.

Ce processus s'élabore grâce à un masque  $H$  qui est en réalité une matrice  $n \times n$ . Dans la majorité des cas il s'agit d'une matrice unaire  $3 \times 3$ . Elle opère donc sur le pixel central via les huit pixels qui l'entoure.



**Figure I.8:** exemple d'application d'un filtre moyenneur [LIN04]

L'image finale filtrée est une convolution de l'image avant le traitement avec le masque qui balaye toute l'image en se déplaçant sur celle-ci. Malheureusement les pixels qui composent la périphérie de l'image ne seront pas modifiés puisque ils ne possèdent pas huit pixels adjacents.

Dans la figure [fig I.8.b], on observe que ce filtre a permis d'éliminer une partie du bruit, notamment dans la partie du ciel mais que les détails sont altérés notamment sur les maisons et les paysages.

### b. Les filtres passe-haut

Les filtres passe-haut, à l'inverse des passe-bas, atténuent les composantes de basse fréquence de l'image et permettent notamment d'accentuer les détails et le contraste [fig I.9.b], c'est la raison pour laquelle le terme de « filtre d'accentuation » est parfois utilisé.



**Figure I.9:** exemple d'un filtre passe-haut [LIN04]

### I.6.1.2. Les filtres non linéaires

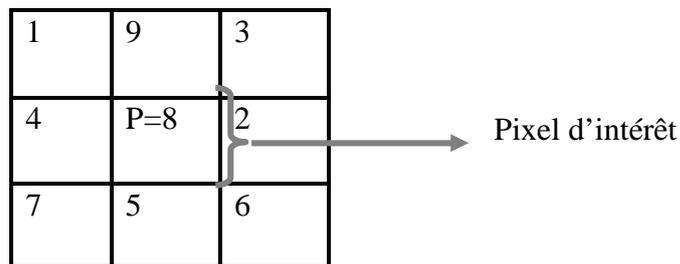
Si le filtre ne peut pas être exprimé par une combinaison linéaire, il est appelé « non-linéaire ». Les filtres non-linéaires sont plus complexes à mettre en œuvre que les filtres linéaires. Cependant les résultats obtenus avec les filtres non-linéaires sont très souvent de meilleure qualité que ceux obtenus par les filtres linéaires [XAV07].

#### a. Le filtre médian

La nature non linéaire de ce filtre a pour but d'éviter de lisser des transitions correspondant à des fronts raides que représente les bords des objets par exemple, pour ne pas gêner la détection des contours [ALM08].

Il ne peut pas être réalisé par une convolution 2D de l'image, considérant un voisinage rectangulaire autour du pixel d'intérêt, le médian consiste à prendre la valeur de niveaux de gris séparant la population en deux effectifs égaux [ACH03].

Exemple :

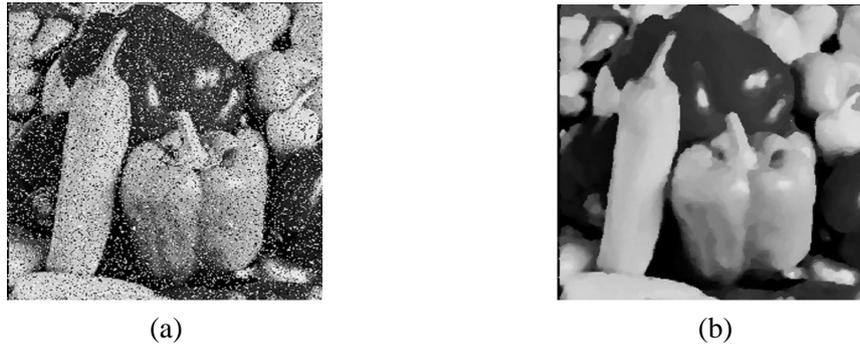


$P = (1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9) : \text{valeur médiane} = 5$

La valeur 8 est remplacée par la valeur de position 5 (position médiane). 1 et 9 sont les valeurs extrêmes.

Où  $p$  représente la valeur du pixel centrale d'une matrice (3\*3).

Par opposition au filtre moyen qui peut introduire des nouvelles valeurs des niveaux de gris, le médian consiste à placer des valeurs des niveaux de gris dans des bonnes endroits dans l'image [fig I.10.b], ce qui conduit à supprimer les détails fins sans déformer le signal.

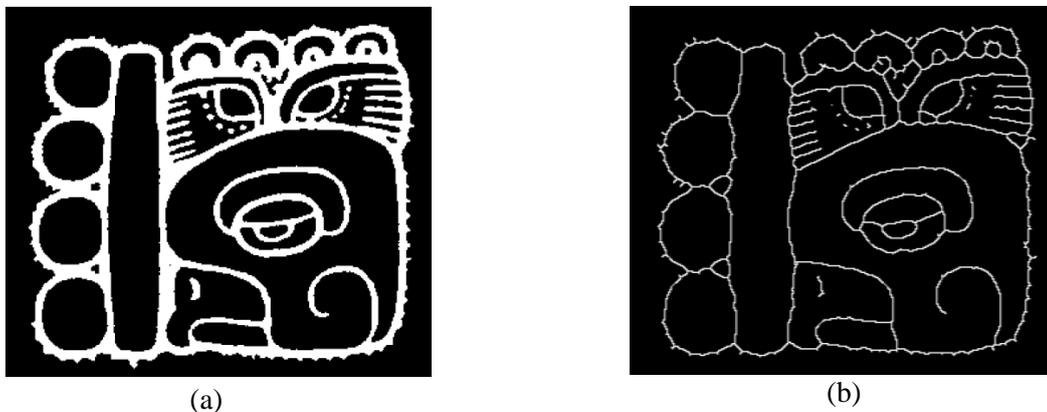


**Figure I.10:** bruit traité par un filtre médian

### b. Les filtres morphologiques

Le filtrage morphologique repose sur la morphologie mathématique, fondée sur une description ensembliste des images. Contrairement aux opérateurs précédemment présentés, on privilégie la notion de forme par rapport aux informations sur les amplitudes des variations d'intensité. A la place des opérations d'addition et de multiplication, les fonctions de base sont le minimum et le maximum. Ce type de filtrage est utilisé pour éliminer des pixels isolés dans les images binaires, qui sont considérés comme un bruit. Il met en correspondance chaque pixel et son voisin par une fonction logique (ET, OU). Parmi les opérateurs morphologiques, nous citons : l'érosion, la dilatation, la squelettisation, l'ouverture, la fermeture [LAO09].

La squelettisation par exemple a pour but de décrire chaque objet [fig I.11.a] par un ensemble de lignes unitaires [fig I.11.b], réduisant sensiblement le volume d'information à manipuler [ALM08].



**Figure I.11:** résultat de la squelettisation [ALM08]

## I.6.2. L'amélioration de contraste

Consiste en l'amélioration de la qualité d'image en éclairant les frontières entre régions.

### I.6.2.1. L'égalisation de l'histogramme

C'est une technique simple qui consiste à transformer l'image de telle sorte que son histogramme soit le plus plat possible [fig I.12.d]. En d'autres termes, il s'agit de rendre la fonction de densité de probabilité aussi uniforme que possible. Pour cela, il suffit de prendre comme fonction de transfert la fonction  $f$  suivante [BEA92]:

$$f(i) = (1/n) \text{Somme } i = 0..i H(i)$$

Tel que  $n$  est le nombre total de pixels,  $H(i)$  le nombre de pixels d'intensité  $i$ , fourni par l'histogramme.

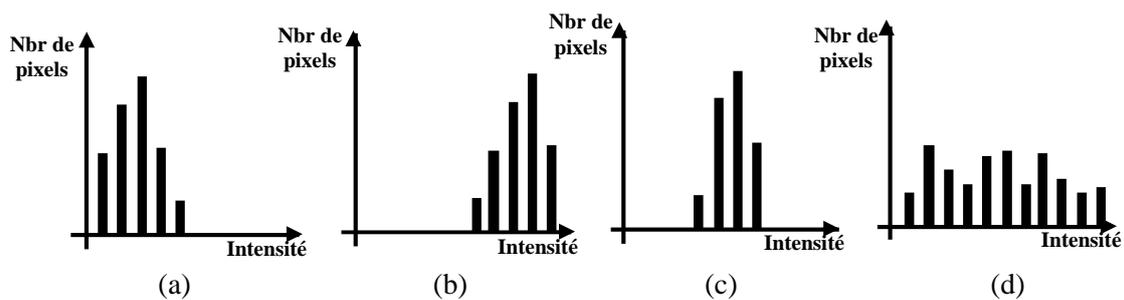


Figure I.12: exemple d'histogrammes

La variation correspondante du nombre de pixels en fonction de l'intensité est illustrée par les graphes [fig I.13]:

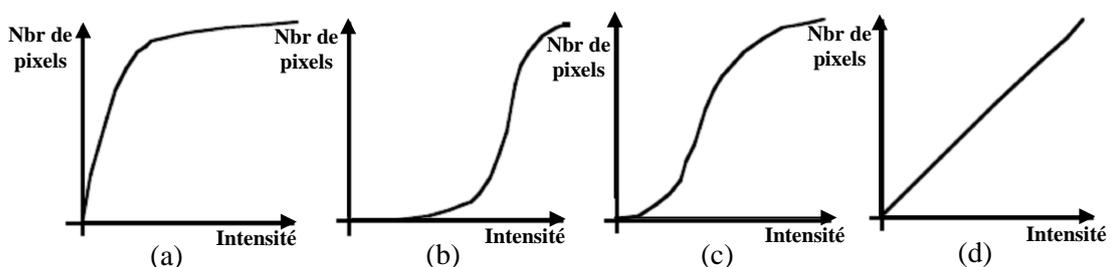
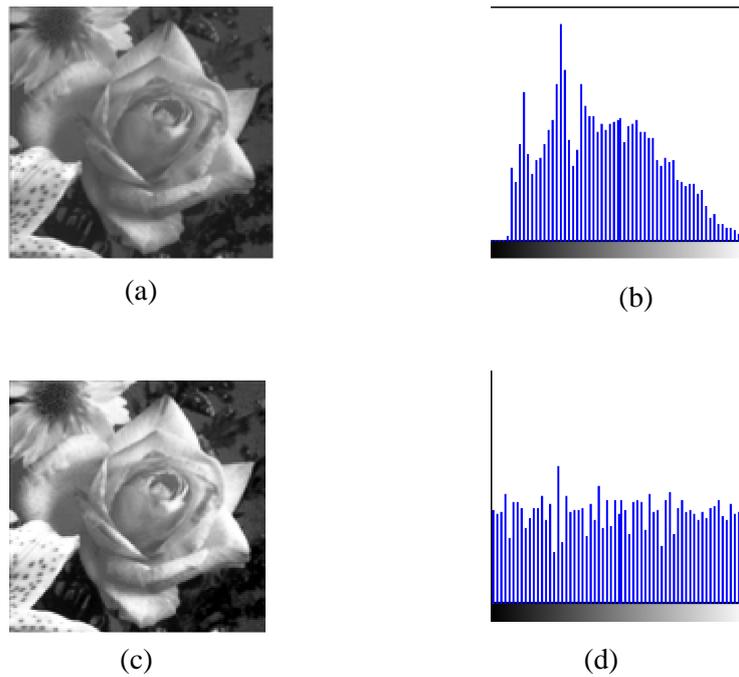


Figure I.13: le nombre de pixels en fonction de l'intensité des cas différents des histogrammes

La fonction  $f$  [fig I.13] a la propriété d'être monotone croissante, c'est-à-dire qu'elle conserve l'ordre des niveaux de gris. En pratique, cette méthode a l'avantage d'être automatique. C'est aussi parfois un inconvénient. On peut alors l'améliorer en spécifiant une fonction de densité de probabilité souhaitée pour l'image résultante. Ce qui permet d'indiquer par exemple que l'on souhaite plus de détails, et donc plus de contraste [fig I.14.d], dans une zone donnée de l'histogramme [BEA92].



**Figure I.14:** exemple d'amélioration de contraste par égalisation d'histogramme

### I.6.2.2. Le rehaussement des niveaux de gris

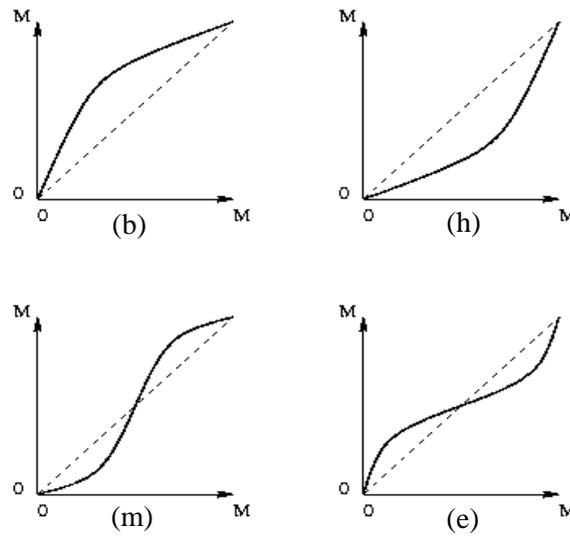
Consiste à appliquer une transformation sur l'intensité de chacun des pixels de l'image. Cette transformation a pour but d'étaler l'ensemble des intensités de l'image sur toute l'échelle des niveaux de gris disponible, soit de 0 à 255 niveaux. Il existe deux classes de méthodes: des méthodes qui appliquent directement des fonctions mathématiques sur les intensités des pixels de l'image, des méthodes fondées sur l'utilisation de l'histogramme (densité de probabilité) des niveaux de gris.

Cette technique permet d'améliorer la qualité de l'image en améliorant le contraste.

Soit  $M$  le niveau de gris maximum (par exemple,  $M = 255$ ). On suppose que le niveau de gris minimum est 0. Le rehaussement consiste à appliquer aux niveaux de gris de l'image une fonction croissante  $f$  telle que :

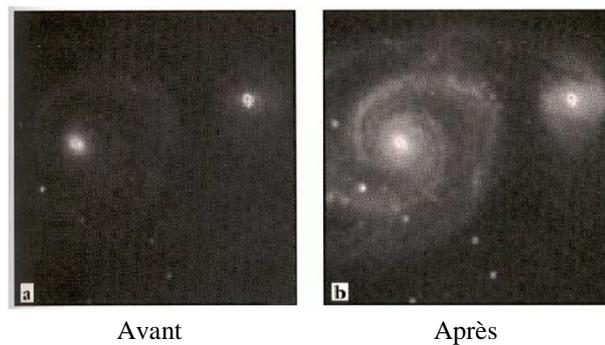
$$f(0) = 0 \text{ et } f(M) = M.$$

Le graphe de  $f$  indique le type de rehaussement appliqué à l'image: les plages de niveaux de gris où la pente de  $f$  est forte seront rehaussées au dépens de celles où cette pente est faible.



**Figure I.15:** exemples des fonctions de rehaussement des niveaux de gris

Dans l'illustration [fig I.15],  $b$  rehausse les bas niveaux de gris (zones sombres), tandis que  $h$  rehausse les hauts niveaux de gris (zones claires),  $m$  rehausse les niveaux de gris moyens, et  $e$  rehausse les niveaux de gris extrêmes [RON07].



**Figure I.16:** exemple d'application d'un masque laplacien

Cependant, elle s'avère insuffisante pour rendre efficaces les méthodes d'interprétation de l'image, parce que l'aspect bruit est toujours présent dans l'image.

### **I.6.3. Segmentation des images**

La segmentation est une étape essentielle en traitement d'images dans la mesure où elle conditionne l'interprétation de l'image. De nombreux algorithmes ont ainsi été proposés durant les dernières décennies. Ils sont basés sur différentes approches: contour, région [web01].

Ces deux approches sont complémentaires et aucune n'a prouvée sa supériorité par rapport à l'autre, chacune ayant ses avantages et ses domaines d'application. L'extraction des contours a en général l'avantage de fournir des contours bien localisés et fonctionne bien lorsque les zones de part et d'autre du contour ont des intensités moyennes différentes. Les méthodes qui extraient les régions sont peu précises sur les contours.

Les approches régions, se basent sur des méthodes de classification. Elles déterminent une partition de l'espace des couleurs et ne prennent pas en compte la disposition spatiale des pixels. Dans l'espace des données, les régions peuvent être regardées comme des régions de hautes densités, séparées par des régions de faible densité.

## **I.7. Domaines d'application du traitement d'image**

On peut citer trois principaux domaines d'application:

### **I.7.1. Imagerie aérienne et spatiale**

Il s'intéresse à l'amélioration des images satellites, à l'analyse des ressources terrestres, à la cartographie automatique, à l'analyse météo (détection de couverture nuageuse). Dans ce type d'applications, on utilise généralement les types des images suivantes : **caméra dans le visible** (couleur (multispectrales) ou noire et blanc (monospectrale)), dans **l'infrarouge** (monospectrale), mais dans les images radar (multispectrales c-à-d : composé de plusieurs plans d'images).

### **I.7.2. Imagerie biomédicales**

A titre d'exemple, on peut citer :

- l'interprétation des images scanner, échographiques.

- la reconnaissance automatique des cellules ou chromosomes, le comptage (des cellules), ostéodensimétrie (ex : prévention de l'ostéoporose par calcul sur image de taux du calcium osseux).

### **I.7.3. Robotique**

- assemblage des pièces, contrôle qualité, robotique mobile.
- stéréovision.

Il existe aussi plusieurs types d'application pour le traitement d'image tel que :

- L'astronomie, la chimie, la physique nucléaire (identification de trajectoires de particules), l'armement (guidage des missiles, reconnaissance des formes).

## **I.8. Conclusion**

L'image numérique est une représentation de phénomènes réels très variés. Son traitement relève d'un domaine pluridisciplinaire.

La manipulation des images pose cependant des problèmes complexes. En effet, l'image est un objet à deux dimensions, censé représenter un espace à trois dimensions, ce qui a deux conséquences majeures au vu du volume des données à traiter qui est beaucoup plus important de la structure de ces derniers qui est nettement plus complexe.

Grâce au traitement d'image, ces contraintes sont levées ou contournées. En effet, ce domaine cherche à détecter la présence de certaines formes, certains contours ou certaines textures d'un modèle connu.

Ses applications concernent des domaines très variés tels que les télécommunications (T.V., vidéo, publicité,...), la médecine (radiographie, ultrasons,...), biologie, astronomie, géologie, l'industrie (robotique, sécurité), la météorologie, l'architecture, l'imprimerie, l'armement (application militaire).

De nouvelles applications pratiques sont possibles aujourd'hui et touchent tous les domaines d'activités, tels que : métiers du spectacle, de la radio, créations artistiques, ...

# Chapitre II : L'image radar



## II.1. Introduction

Dans ce chapitre, des concepts relatifs à un type spécifique d'images numériques « Les images radar de télédétection » sont définis, en commençant par le radar comme système d'acquisition, les techniques d'acquisitions ainsi que les caractéristiques de ces dernières sont explicitées. Les domaines basant sur l'image radar comme source d'information pour satisfaire un objectif bien définis seront alors présentés.

## II.2. Qu'est ce qu'un système radar

### II.2.1. Historique

Jusqu'à la moitié des années 40 les Anglais utilisaient le terme de « radiolocation » et les Français celui de « détection électromagnétique » ou (DEM). En 1886, Heinrich Hertz démontra la similitude entre les ondes lumineuses et ondes «radio», toutes deux électromagnétiques. Leur différence essentielle est que la longueur d'onde de ces dernières est beaucoup plus grande que celle des ondes lumineuses. Hertz montra que les ondes «radio» pouvaient, elles aussi, être réfléchies par les corps métalliques et diélectriques. Dès 1904, l'Allemand Christian Hülsmeier décrivait un appareil de projection et de réception d'ondes hertziennes pour donner l'alarme en présence d'un corps métallique tel qu'un navire ou un train situé dans le faisceau du projecteur. Cette possibilité était vérifiée expérimentalement de façon plus ou moins complète de 1922 à 1927 par un certain nombre de chercheurs. En juin 1930, l'Américain L. A. Hyland obtint une détection accidentelle d'un avion passant dans un faisceau d'ondes «radio» de 9 mètres de longueur d'onde. Dès lors, le Naval Research Laboratory (N.R.L) expérimenta de 1930 à 1934 un premier système de «détection d'objets par radio» en ondes métriques (environ 5 m de longueur d'onde) permettant des détections d'avions distants de quelque 80 kilomètres [HAD05].

### II.2.2. Définition d'un radar

Le mot radar est une abréviation de l'anglais « Radar Detection Ranging » c'est-à-dire détection par radio et mesure de la distance. Ce mot est utilisé pour décrire un système d'acquisition d'images à des longues distances. Le principe de fonctionnement du système radar se base sur l'éclairage artificiel de la scène, et l'analyse des ondes réfléchies.

Nous distinguons deux types de systèmes radar : le radar à ouverture réelle et le radar à ouverture synthétique (Synthetic Aperture Radar ou SAR). C'est ce dernier type de radar (SAR) qui a attiré l'attention des chercheurs en télédétection ces dernières années [MAH97].

Ce système produit des images de bonne qualité dans des conditions difficiles (nuages, longue distance). Cependant, les images produites sont affectées par un bruit, et nécessitent un prétraitement avant d'être interprétées.

### II.2.3. Le radar à synthèse d'ouverture

Au contraire d'un radar à ouverture réel qui obtient les informations à partir d'une antenne à angle d'acquisition fixe, le principe d'un radar à ouverture synthétique (SAR) ou (ISAR) consiste à utiliser le déplacement d'une antenne radar pour simuler une antenne de grande dimension. L'image résultante est alors une synthèse de plusieurs images obtenues dans les différentes positions de l'antenne [fig II.17]. Afin de réaliser ce déplacement, le radar peut être placé sur un avion ou un satellite [RED07].

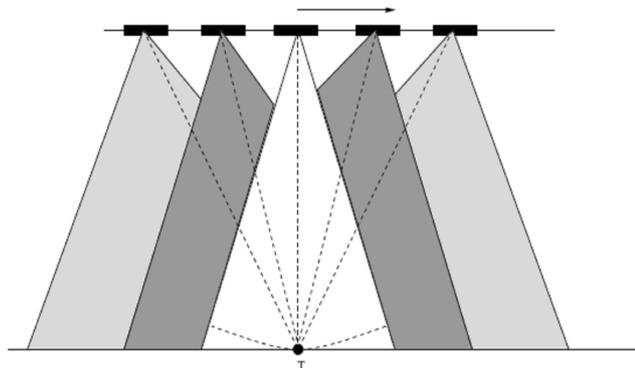


Figure II.17: principe de fonctionnement d'un radar à synthèse d'ouverture

### II.2.4. Notion de la télédétection

La télédétection est une technique qui permet d'étudier la surface de la terre au moyen de capteurs placés à bord d'avions ou de satellites. Ces instruments enregistrent les rayonnements émis ou réfléchis par la surface de la terre.

Une image du sol terrestre, c'est-à-dire la représentation graphique des enregistrements du capteur, est obtenue en attribuant des intensités de gris ou de couleurs aux valeurs numériques enregistrées. L'utilisation de différentes combinaisons de valeurs et des traitements spécifiques, permet l'extraction d'informations sur certaines caractéristiques du sol,

informations qui peuvent être utiles en agriculture, en foresterie, en géologie, en hydrologie, en océanographie ou en cartographie [MAH97].

Au niveau des applications de télédétection, les systèmes satellitaires sont généralement préférés aux systèmes aéroportés car ils permettent une surveillance globale et quasi permanente des terres émergées, des océans, de l'atmosphère, de l'impact des activités humaines et des phénomènes naturels avec un délai de remise à jour des informations relativement court. En fonction du type de capteur utilisé, on parle de télédétection passive ou de télédétection active.

### **a. La télédétection passive**

Le radiomètre (l'instrument de mesure) embarqué sur l'avion ou le satellite capte le rayonnement réfléchi par la surface de la terre, lorsque le soleil illumine la terre. Le soleil est la source d'énergie. Il n'est donc pas possible de réaliser des observations la nuit ou quand des nuages masquent le sol [Web02].

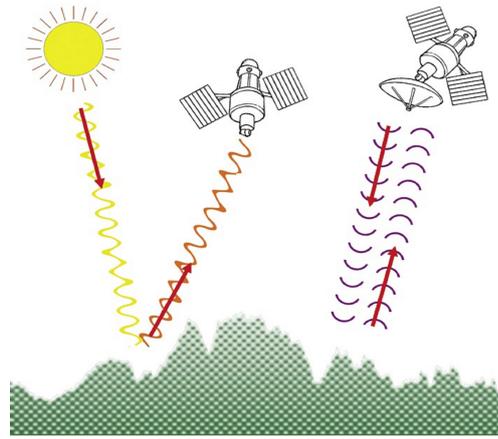
L'observation des régions tropicales n'est pas toujours facile en raison de la couverture nuageuse. Les régions polaires en période hivernale avec peu d'éclairement ne sont pas facilement observables.

### **b. La télédétection active**

Le capteur embarqué à bord de l'avion ou du satellite produit sa propre énergie pour illuminer la cible : il dégage un rayonnement électromagnétique qui est dirigé vers la cible. Le rayonnement réfléchi par la cible est alors perçu et mesuré par le capteur. On utilise des radars ou des lasers comme source d'énergie. Ces rayonnements passent à travers la couverture nuageuse et il est donc possible d'obtenir des images quelles que soient les conditions météorologiques et de jour comme de nuit.

Les images obtenues sont plus difficiles à analyser, mais elles permettent d'obtenir des renseignements sur la topographie, sur la teneur en eau et la rugosité superficielles du sol, sur l'agencement des éléments du paysage ou de détecter la présence de nappes d'hydrocarbures en mer.

Le capteur passif enregistre la partie du rayonnement solaire réfléchi (visible) ou absorbée et retransmise. Le capteur actif produit lui-même un rayonnement électromagnétique qui est dirigé vers la cible. Il enregistre ensuite la part de rayonnement réfléchi par la cible, comme illustre la figure [fig II.18].

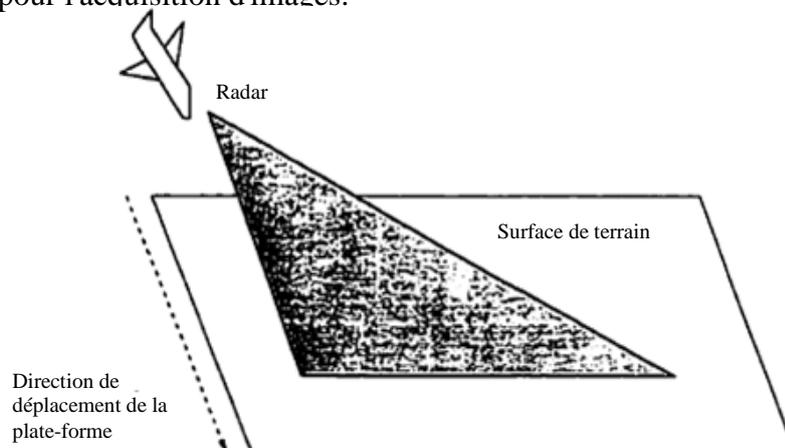


**Figure II.18:** radar actif et radar passif [Web02]

### II.3. L'acquisition des images radar

Les capteurs actifs éclairent artificiellement les surfaces à filmer avant d'enregistrer l'énergie renvoyée vers le capteur. Parmi les capteurs actifs, nous citons les radars et les diffusomètres.

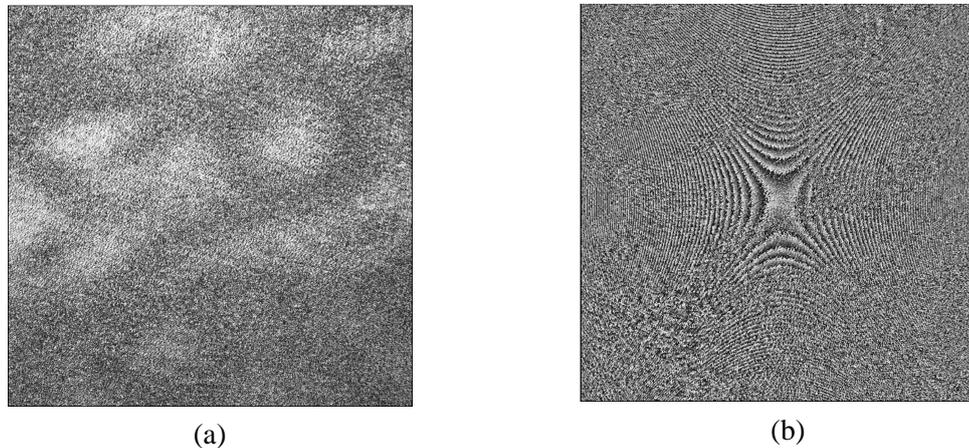
Le système radar projeté vers le sol une impulsion d'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques maintenues dans un plan perpendiculaire au déplacement de la plateforme qui transporte le radar (avion ou satellite...etc). Une partie de cette énergie est réfléchiée par les objets au sol et renvoyée vers le capteur. Une comparaison entre les caractéristiques de l'onde réfléchiée (phase et amplitude) et celles de l'onde émise permet de déduire les propriétés de la surface au sol. Les objets au sol sont séparés sur l'image par l'analyse des temps de retour du signal. L'autre dimension de l'image est générée par le déplacement même du radar. La figure [fig II.19] présente le principe de fonctionnement d'un système radar pour l'acquisition d'images.



**Figure II.19:** Le principe de fonctionnement du système radar [MAH97]

Dans une image radar, la valeur de chacun des pixels est associée soit à l'amplitude ou à l'intensité (amplitude au carré) du signal rétrodiffusé du terrain ou des objets.

Dans le premier cas, on parle d'image d'amplitude [fig II.20.a], et dans le second, d'image d'intensité [fig II.20.b].



**Figure II.20:** image d'amplitude et d'intensité

Chaque objet du terrain est caractérisé par son coefficient de rétrodiffusion. La formation des images radar est cependant totalement différente de celles obtenues en télédétection passive. Ainsi, le coefficient de rétrodiffusion est relié à la moyenne du signal, mais celui-ci peut subir de grandes variations locales et aléatoires dues à l'interférence des ondes cohérentes émises et au système imageur. Cette variation se manifeste même pour des objets homogènes (coefficient de rétrodiffusion constant), et produit une granularité appelée « Chatoiement ».

## II.4. Le chatoiement

La plupart des chercheurs considèrent le chatoiement ou (speckle) comme un bruit multiplicatif statistiquement indépendant du signal. Son modèle est donné par l'équation suivante [SMA05]:

$$a(i, j) = g(i, j) \cdot b(i, j)$$

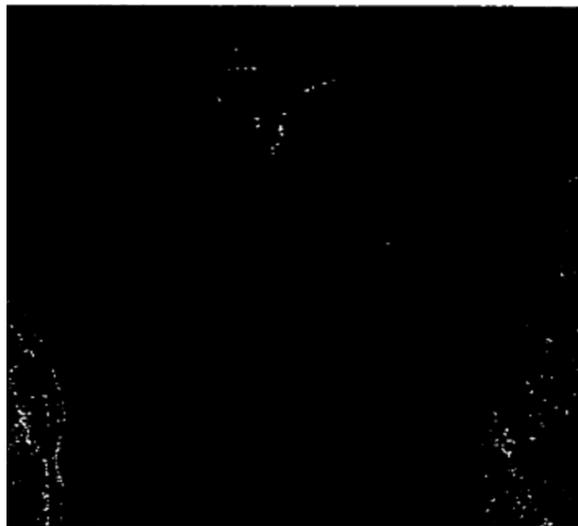
Où  $a(i, j)$  représente l'image observée,  $g(i, j)$  l'image non bruitée et  $b(i, j)$  le bruit multiplicatif.

La nature multiplicative du chatoiement signifie qu'il augmente avec l'intensité du signal reçu au capteur. Il donne un aspect particulier aux images radar, il rend l'interprétation des

images plus compliquée et réduit l'efficacité de la segmentation, de la classification, et d'autres techniques d'extraction de l'information.

La figure [fig II.21] montre une partie d'une image aéroportée C/X SAR 580 de la forêt de Montmorency au nord de la ville de **Québec** (Canada) [MAH97]. C'est une image vue, de 802 x 701 pixels de 6 mètres de résolution et d'un pas de pixel de 4 mètres. L'image contient des cours d'eau, un lac, des routes et des zones de coupes forestières. L'aspect chatoyement dans l'image qui augmente avec les intensités des régions est visible.

Les surfaces lisses, comme le lac, sont sombres, et les surfaces rugueuses, comme la végétation forestière, sont plus brillantes.



**Figure II.21:** exemple d'image radar [MAH97]

Toutefois, le système radar à ouverture synthétique possède des caractéristiques intéressantes pour les applications en télédétection, même si les images produites sont plus compliquées à interpréter.

Le radar offre des possibilités pour la surveillance de l'environnement. La production des images par ce système est indépendante des conditions météorologiques. Ceci est possible grâce aux fréquences utilisées qui situent dans une région de spectre électromagnétique où l'atmosphère est totalement transparente au rayonnement.

### a. Modélisation statistique du speckle :

La première fonction de probabilité représentant la distribution statistique de l'amplitude et de l'intensité du speckle optique a été établie par J.W. Goodman en 1976. Il s'est basé sur l'hypothèse d'une lumière, éclairant un milieu diffusant monochromatique et polarisée [MCH10].

L'illumination d'un ensemble de diffuseurs par une lumière cohérente génère plusieurs phaseurs de champs électriques individuels  $U_n$ . Le processus aléatoire d'interférence cause l'addition cohérente de ses champs produisant un champ total  $U_T$ . La phase entre les phaseurs est aléatoire, le champ électrique résultant est aléatoire, et son amplitude est la somme des amplitudes des champs individuels :  $U_T = \sum_n U_n$ . C'est ce phénomène d'interférence aléatoire qui produit le speckle.

Considérant le champ élémentaire  $U_n$  comme un phaseur, nous avons :  $U_n = a_n \exp(-j \varphi_n)$ , où  $a_n$  est son amplitude et  $\varphi_n$  sa phase. Nous supposons que les phases  $\varphi_n$  ont une distribution uniforme entre 0 et  $2\pi$ , et que  $a_n$  et  $\varphi_n$  sont des variables aléatoires indépendantes entre elles pour le même phaseur, et indépendantes d'autres phaseurs. Sous ces hypothèses le champ total  $U_T$  s'écrit :

$$U_T = A \exp(-j\Psi) = \sum_n a_n \exp(-j\varphi_n)$$

Où  $A$  est l'amplitude du champ et  $\Psi$  sa phase.

Les  $a_n$  sont des variables aléatoires qui représentent les diffuseurs dans le média, ou plus précisément leurs sections (responsables de la diffusion). En supposant une distribution gaussienne des diffuseurs, on considère que les  $a_n$  sont des variables indépendantes, identiquement distribuées de loi Normale (ou Gaussienne) de moyenne nulle. Dans le cas d'un grand nombre d'ondes réfléchies (c'est-à-dire de diffuseurs), l'application du théorème central de la limite donne une distribution normale pour les parties réelles et imaginaires de  $U_T$ . L'amplitude du champ total  $A$  s'écrit :

$$A = \sqrt{(\text{Re}\{U_T\})^2 + (\text{Im}\{U_T\})^2}$$

On en déduit que la distribution de la densité de probabilité de  $A$  suit une loi de **Rayleigh** :

$$p(A) = \begin{cases} \frac{A}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{A^2}{2\sigma^2}\right) & \text{if } A > 0 \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

L'intensité du champ  $U_T$  est donnée par l'expression :

$$I = ((\text{Re}\{U_T\})^2 + (\text{Im}\{U_T\})^2)$$

Goodman a montré que la distribution de sa densité de probabilité suit une loi exponentielle négative :

$$p(I) = \begin{cases} \frac{1}{I_m} \exp(-\frac{I}{I_m}) & \text{if } I > 0 \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

Où  $I_m$  est l'intensité moyenne.

## II.5. La réponse spectrale

Au cours du processus de télédétection, chaque objet réfléchit une partie des rayonnements qu'il reçoit. Le rapport de l'énergie réfléchie à l'énergie totale incidente est appelé « albédo ».

En télédétection optique on a coutume de parler de « réflectance » pour désigner la proportion d'énergie réfléchie dans une direction donnée, notamment dans la direction du capteur.

La variation de la réflectance en fonction de la longueur d'onde est appelée « signature spectrale » [fig II.22].

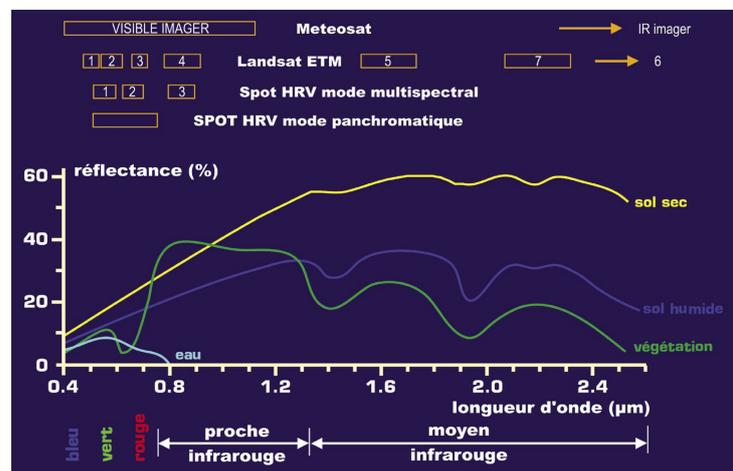
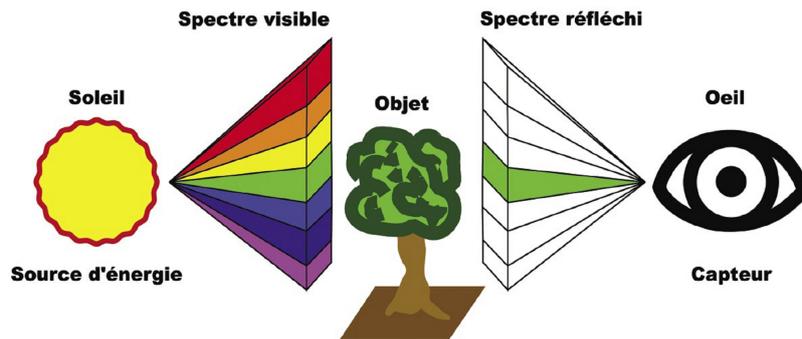


Figure II.22: signature spectrale [Web02]

### II.5.1. La réponse spectrale de la végétation

Les feuilles de la végétation contiennent de la chlorophylle. La chlorophylle est une molécule qui absorbe fortement les rayons bleus et rouges, et qui réfléchit le vert [Web02]. C'est pourquoi la végétation nous apparaît verte [fig II.23].



**Figure II.23:** la réponse spectrale de la végétation

La végétation réfléchit également dans le proche infrarouge (PIR), rayonnement dont les longueurs d'onde sont comprises entre 0,7 et 1,3 micromètres ( $\mu\text{m}$ ) et qui sont proches des longueurs d'onde des rayons lumineux rouges.

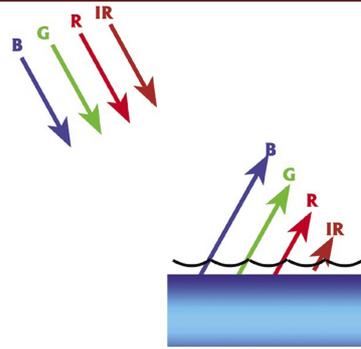
Dans ce domaine de longueur d'onde, ce ne sont plus les pigments qui sont responsables de la réflexion mais la structure du feuillage (le parenchyme lacuneux, qui est un des composants des feuilles, réfléchit le rayonnement proche infrarouge). Si notre oeil était sensible aux rayons du proche infrarouge, la végétation nous paraîtrait très fortement colorée en infrarouge. Pour pouvoir étudier la végétation en télédétection, il faudra donc un capteur sensible au proche infrarouge.

Une végétation saine sera très lumineuse dans le PIR, tandis qu'une végétation malade ou souffrante de la sécheresse effectuera peu de synthèse chlorophyllienne et apparaîtra peu lumineuse dans le PIR. L'analyse de la proportion de lumière infrarouge réfléchie donne donc une mesure de la santé de la végétation, ou permet d'estimer le degré de maturité d'une culture (maïs, blé, ...). Une culture arrivée à maturité n'effectue presque plus de photosynthèse, elle sera peu lumineuse dans le PIR.

### II.5.2. La réponse spectrale de l'eau

L'eau absorbe plus les grandes longueurs d'onde (proche infrarouge, rouge et vert) et réfléchit plus les petites longueurs d'onde (bleu) [fig II.24]. C'est pourquoi elle nous apparaît bleue (ou bleuvert si l'eau contient des algues vertes).

En télédétection, l'eau apparaîtra lumineuse dans le bleu et peu lumineuse (donc sombre) dans le vert, le rouge et le PIR.



**Figure II.24:** la réponse spectrale de l'eau

### II.5.3. La réponse spectrale du sable ou le sol nu

Le sable ou un sol nu sont réfléchissants pour tous les rayons bleus, verts, rouges et PIR : ils apparaissent très lumineux et donc « blancs » en télédétection. Un sol humide ne réfléchit pas les rayons PIR, car l'eau absorbe ces rayonnements.

## II.6. L'amélioration des images radar

Les images radar sont généralement affectées par le chatoiement, ce qui rend inefficaces les méthodes usuelles de traitement d'images comme les méthodes de segmentation ou de classification. Toutefois, il serait nécessaire d'améliorer la qualité de ces images afin de soulager la tâche de l'interprétation. Parmi les techniques d'amélioration de la qualité des images radar, on trouve la technique d'amélioration du contraste et la technique du filtrage.

Dans le cas des images radar, nous distinguons deux types de filtrage :

- Le premier est un filtrage qui se fait au moment de l'acquisition de l'image, ce filtrage consiste à prendre plusieurs vues de la même scène, et à calculer la moyenne pour chaque point de l'image. Dans l'étape de l'acquisition des données, un effet similaire peut être obtenu par un traitement approprié du signal. Il s'agit dans ce cas, du filtrage par traitement multi-vues (multi-look processing). Ce genre de filtrage réduit la variation du signal, et par conséquent il réduit le chatoiement dans l'image.
- Le deuxième type de filtrage consiste à appliquer des transformations après que l'image soit formée. Ces transformations doivent tenir compte des caractéristiques des images radar et surtout du modèle statistique du bruit qui les affecte. Généralement, il s'agit d'appliquer ce genre de méthodes de filtrage sur des images à plusieurs vues.

Les méthodes de filtrage les plus connues sont classées comme suite :

### II.6.1. Les filtres heuristiques

Ces filtres ne tiennent pas compte des propriétés statistiques du chatoiement ni de la variabilité spatiale de la rétrodiffusion Radar d'une scène naturelle. Quelques filtres classiques de cette famille sont introduits dans [SMA05].

**Le filtre moyen** réalisé par une moyenne des niveaux de gris autour du pixel central, il permet une bonne réduction du speckle. Son défaut est de lisser très fortement les contours et la texture, dégradant ainsi la résolution spatiale et donnant une impression de flou.

**Le filtre médian** (cf I.6.1.2), qui est appliqué itérativement avec une fenêtre de traitement de petite taille, préserve assez bien les structures, au prix d'un filtrage moins efficace.

**Les filtres géométriques de Crimmins** qui passent en revue toutes les directions de l'image (qui doit être carrée), parmi les quatre directions principales : horizontale, verticale, diagonale principale et diagonale secondaire. L'image est découpée en tranche suivant une de ces directions. Sur chacune de ces tranches, la valeur des pixels est successivement comparée à celle de ces voisins, Suivant le cas de figure, sa valeur est augmentée ou diminuée d'une unité. Le processus de filtrage s'achève lorsque les quatre directions ont été passées en revue. Comme un seul filtrage ne suffit pas, l'opération est répétée en repartant de l'image filtrée. Ainsi, Crimmins utilise à chaque itération l'algorithme de « Hull » pour filtrer le speckle dans les images RSO [RED07]. Ces filtres permettent un filtrage efficace du speckle, tout en respectant les structures pour des contrastes locaux suffisants. Ils dégradent cependant la texture et les réponses ponctuelles des petites cibles.

**Le filtre Sigma** non-linéaire qui remplace un pixel central par une valeur sélectionnée parmi les pixels situés dans  $[I(x,y)-\sigma, I(x,y)+\sigma]$ , Si le nombre de pixels sélectionnés est inférieur à un seuil  $k$  donné, on affecte la moyenne des 8 voisins. La valeur de  $k$  dépend de la taille du voisinage utilisé pour la sélection.  $\sigma$  peut être déduit de l'écart-type de l'image. Ce filtre est adapté au modèle multiplicatif ne prend en compte pour l'estimation des statistiques locales (en l'occurrence la moyenne) que les pixels compris dans une certaine gamme de valeurs radiométriques.

### II.6.2. Les filtres homomorphiques

Dans l'étude de la formation d'une image, on trouve le modèle suivant : l'intensité lumineuse  $u(x,y)$  en chaque point d'une image est caractérisée par deux composantes. La première, appelée *illumination* et notée  $0 < i(x,y) < 1$ , est la quantité de lumière incidente sur

la scène vue. La deuxième, appelée *réflectance* (cf II.5) et notée  $0 < r(x,y) < 1$ , désigne la quantité de lumière réfléchiée par les objets de la scène [HUR03].

Celle ci dépend beaucoup de la nature des surfaces des objets et de l'angle de vue selon lequel on les observe. Ces deux composantes forment l'intensité lumineuse globale perçue qui s'exprime sous la forme d'un produit:

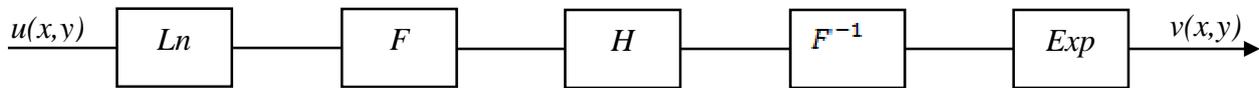
$$u(x,y) = i(x,y) \cdot r(x,y) \quad (1)$$

Le filtrage homomorphique est un filtre connu en traitement d'image, qui utilise cette modélisation. Il s'agit d'un filtrage fréquentiel. L'illumination répond en général à des variations d'intensité lentes, donc associée à des basses fréquences. La réflectance, reliée aux objets et donc aux contours et changements brusques de luminosité, est associée à des fréquences élevées.

Mais la non-linéarité de l'équation (1) empêche d'y appliquer efficacement un filtre fréquentiel  $H(u,v)$  car:

$$F[u(x,y)] \neq F[i(x,y)] \cdot F[r(x,y)] \quad (2)$$

Donc, les images doivent être préalablement transformées logarithmiquement pour dissocier l'illumination de la réflectance. L'image filtrée est ensuite transformée exponentiellement [figII.25]. Le speckle est considéré comme un bruit additif au moment du filtrage.



**Figure II.25 :** principe d'un filtre homomorphique [HUR03]

Prenant par exemple le filtre  $H$  suivant :

$$H(u,v) = (gH - gL) \cdot (1 - N_g(u,v)) + gL \quad (3)$$

Avec  $gH > 1$  et  $gL < 1$  réels positifs,  $N_g(u,v)$  gaussienne normalisée centrée en l'origine de variance  $\sigma^2$ . On a alors, en 1D, un filtre de réponse fréquentiel. Ce filtre est un filtre dit *highboost* dans la littérature, car il amplifie les hautes fréquences, et diminue la contribution des basses fréquences.

Le paramètre  $gH$  doit être supérieur à 1 pour amplifier les hautes fréquences, et  $gL$  doit être inférieur à 1 pour filtrer les basses fréquences responsables des défauts d'illumination. Il est très difficile de quantifier objectivement l'influence de ces paramètres car nous ne disposons pas d'outils de mesures précis de validation des cicatrices. Le choix de ces paramètres s'est donc fait de manière empirique et subjective. C'est-à-dire qu'il correspond au moment où il nous semble que les défauts d'illumination sont suffisamment bien traités, sans trop amplifier le bruit.

Les filtres homomorphiques les plus utilisés sont [SMA05]:

**Le filtre linéaire d'Arsenault** qui est l'analogue du filtre de Lee [fig II.26.b] (mais pour un bruit additif). Une amélioration apportée à cette méthode de filtrage consiste à introduire de façon explicite un modèle de scène, ce qui a pour effet d'améliorer la préservation de la texture.

**Le filtre alpha-linéaire** de Boucher et Hillio, qui est une généralisation des filtres de Lee et d'Arsenault, dans laquelle on applique d'une part le filtre de Lee pour le filtrage des cibles étendues, et d'autre part le filtre d'Arsenault pour la réduction du chatoiement dans les zones à contours.

#### a. Filtre de lee

Si la valeur du pixel observé est  $(x=s.n)$ , où  $s$  est le signal que l'on veut récupérer. La sortie du filtre est alors [MAU02] :  $y = \bar{s} + k.(x - \bar{s})$  où :  $k = \frac{\text{var}(s)}{\bar{s}^2 \cdot \text{var}(n) + \text{var}(s)}$

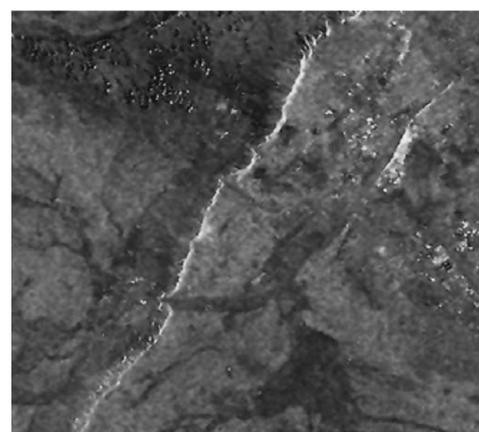
Avec  $\bar{s} = \frac{\bar{x}}{\bar{n}} = \bar{x}$  est la moyenne du signal estimée dans la fenêtre de filtrage et

$\text{var}(s) = \frac{\text{var}(x) + \bar{x}^2}{\text{var}(n) + \bar{n}^2} - \bar{s}^2$  est la variance du signal estimée sur la même région.

Ce filtre a connu de nombreux travaux de recherche, notamment dans [BER03], qui a montré que le filtre de Lee supprime bien le bruit de speckle dans les zones sombres et plus difficilement dans les zones de forte intensité, mais il supprime mal le speckle proche des bords ce qui montre l'inconvénient majeur de ce dernier, car il dégrade légèrement les échos et ne met pas en valeur les structures anisotropes.



(a)



(b)

**Figure II.26:** exemple de résultat du filtre de lee [SMA05]

Le filtre de Lee a connu certaines améliorations, réalisées par une étape de classification. Les pixels sont assignés dans une des trois classes suivante : la première est la classe homogène qui correspond aux parties de l'image où la réflectivité réelle varie, la deuxième est la classe des zones texturées et les contours. Enfin la troisième classe correspond aux pixels que le filtrage ne devrait pas modifier. Seules les parties faiblement texturées sont filtrées [HAC09].

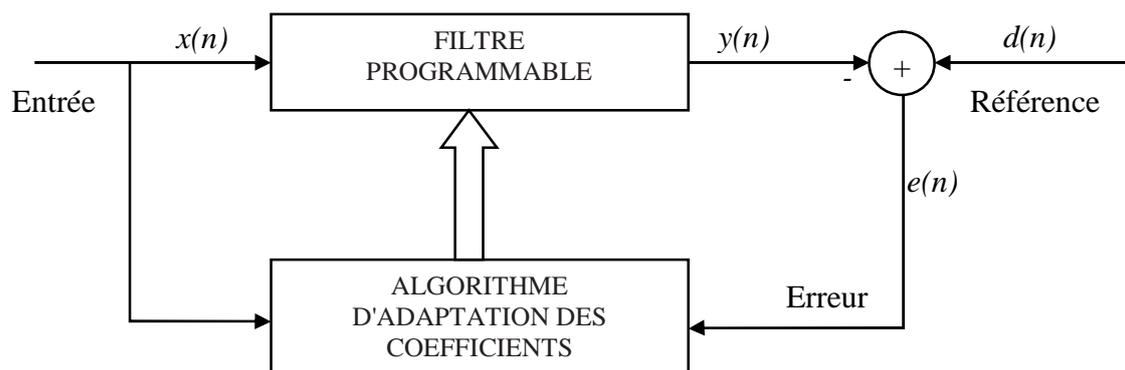
### II.6.3. Les filtres adaptatifs

Un filtrage est rendu adaptatif si ses paramètres, les coefficients, sont modifiés selon un critère donné, dès qu'une nouvelle valeur du signal devient disponible. Ces modifications doivent suivre l'évolution des systèmes dans leur environnement aussi rapidement que possible [BEN02].

Le filtrage adaptatif est généralement associé avec un fonctionnement en temps réel. Le filtrage adaptatif est un outil puissant en traitement du signal et contrôle automatique. Tel types de filtres présente les caractéristiques suivantes:

On dispose d'une entrée  $x(n)$  ainsi que de la réponse désirée  $d(n)$  et l'erreur  $e(n)$ , qui est la différence entre  $d(n)$  et la sortie du filtre  $y(n)$ , sert à contrôler (adapter) les valeurs des coefficients du filtre. Ce qui différencie essentiellement les applications provient de la façon de définir la réponse désirée  $d(n)$ .

La figure [fig II.27] suivante illustre le principe de fonctionnement :



**Figure II.27:** principe d'un filtre adaptatif [BEN02]

Les filtres adaptatifs sont basés sur les paramètres statistiques du premier ou second ordre du chatoiement et de la scène [SMA05].

Les filtres adaptatifs les plus connus sont :

Les filtres linéaires (EQMM), le filtre de Frost [fig II.28.b], le filtre Maximum.

### a. Filtre de frost

Le filtre de Frost prend en compte de manière explicite l'auto-corrélation spatiale de la scène en la modélisant par une fonction exponentielle amortie. L'image filtrée est obtenu en convoluant l'image par la réponse impulsionnelle du filtre de Frost [HAC09]:

$$\hat{f}_s = \sum_{p \in \eta_s} m_p f_s$$

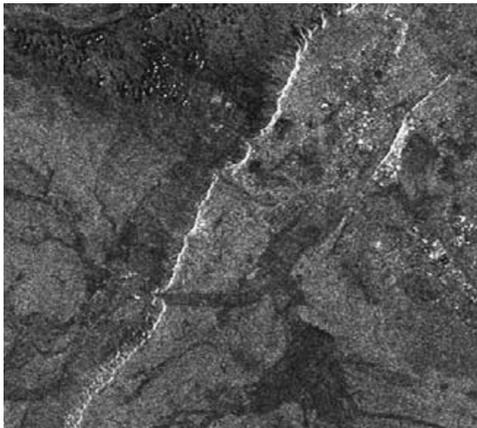
tel que

$$m_p = \frac{\exp(-KC_s^2 d_{s,p})}{\sum_{p \in \eta_s} \exp(-KC_s^2 d_{s,p})}$$

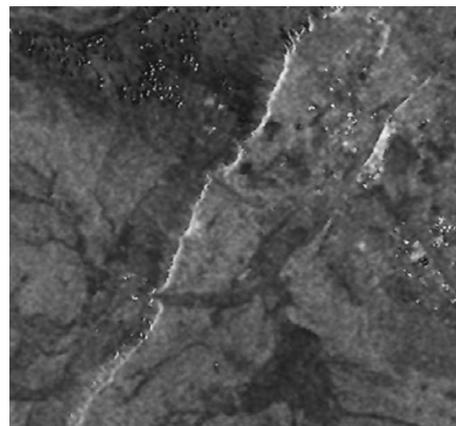
Où :  $K$  est un facteur d'atténuation,  $(i, j)$  sont les coordonnées du pixel  $s$ , et

$(i_p, j_p)$  sont celles du pixel  $p$ .  $\eta_s$  : Correspond à une fenêtre de voisinage autour du point  $s$ .

Le facteur  $K$  est choisi de telle façon que le produit  $KC_s^2$  tend vers zéro sur les zones homogènes et devient suffisamment grand aux abords des contours pour que le filtrage s'arrête.



(a)



(b)

**Figure II.28:** exemple de résultat du filtre de froste [SMA05]

Le filtre de Frost a attiré l'attention des chercheurs à cause de ses caractéristiques de filtrage du speckle, [KAD02] et [KOM07] ont montré que ce dernier préserve en général toute la finesse de l'image radar ainsi que les détails linéaires.

#### II.6.4. Les filtres multirésolutions

Dans ce type de filtre, le chatoiement est traité par une analyse multi-échelles qui utilise l'analyse multirésolution et son outil associé : la transformée en ondelettes. Ceci permet de traiter uniquement les échelles les plus affectées par le chatoiement.

Une transformée multiéchelle permet de représenter un signal à l'aide de deux paramètres: le temps et l'échelle. L'échelle permet de définir une nouvelle notion de caractéristique «fréquentielle» dépendante du temps. L'analyse multiéchelle a été sujet d'intérêt dans [MER04], qui a montré que c'est un outil idoine pour analyser localement l'allure du spectre de vague. L'analyse en multiéchelle, lorsqu'elle est linéaire, peut se décliner à l'aide de plusieurs outils :

La transformée de Fourier locale qui n'est qu'une transformée de Fourier classique du signal initial réduite à une durée limitée par une fenêtre glissante.

La transformée en ondelettes dans laquelle la fonction de base  $\psi$  (ondelette mère) remplace la sinusoïde fenêtrée de la transformée de Fourier locale telle que :

$$\text{TO}\{f\}(b, a) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt.$$

Une ondelette mère peut prendre des formes très variées, et le choix de la meilleure fonction d'ondelette reste un problème ouvert et très dépendant de l'application.

Lorsqu'un signal est appréhendé en multiéchelle, il est disposé sous une forme progressive dans laquelle le niveau de détail contenu dans chaque bande de décomposition est croissant (on peut aussi dire que la fréquence maximale du spectre de Fourier est de plus en plus grande). Par contre, si ce signal est présenté en multirésolution, le niveau de détail de chaque bande de la décomposition reste le même (les spectres de Fourier sont de même largeur de bande), mais c'est le pas de l'échantillonnage du signal qui varie.

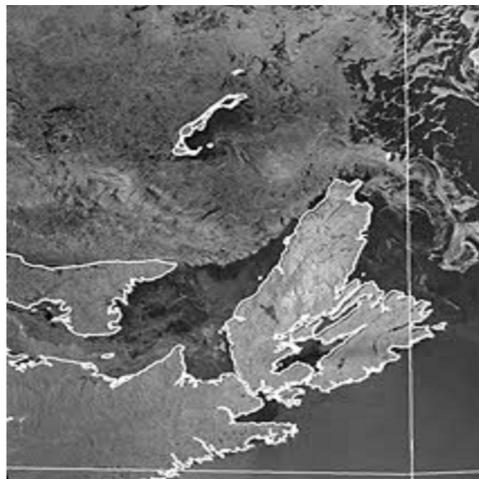
## II.7. Applications des images radar

Une image radar est une donnée de luxe. Cela est dû à la capacité du radar d'acquérir les images dans des différentes conditions, à travers les nuages, la brume, le brouillard ou la fumée, de jour comme de nuit.

Elles permettent de mesurer les caractéristiques physiques et géométriques des objets observés (structure, teneur en eau, biomasse).

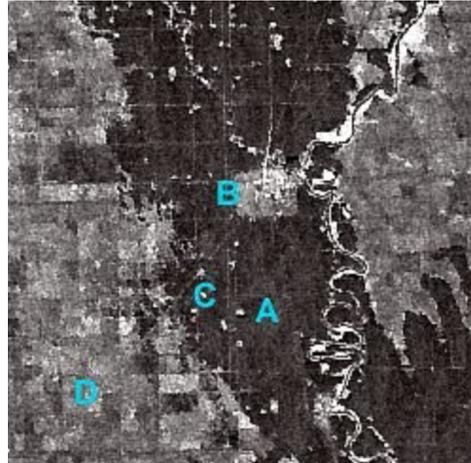
On peut alors exploiter les images radar dans une variété de domaines tel que :

- **Cartographie** des zones intertropicales et polaires, côtes maritimes brumeuses.
- **Géologie**, hydrologie, exploration minière et pétrolière.
- **Détection des mouvements de surface** : activité sismique, glissements de terrain, subsidence.
- **Applications maritimes** : surveillance du trafic maritime, détection des pollutions marines, suivi des glaces [fig II.29].



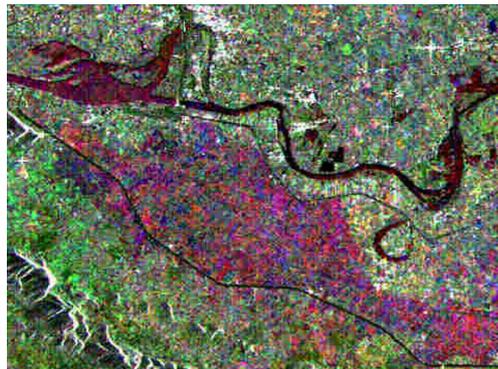
**Figure II.29:** imagerie radar des glaciers

- **Gestion des risques** : inondations [fig II.30], feux de forêt.



**Figure II.30:** image des zones inondées prise par radar

- **Agriculture et forêt :** détection de l'état des changements dus à la croissance de la végétation [fig II.31], aux variations d'humidité du sol, aux activités agricoles et forestières (labourage, déforestation).



**Figure II.31:** imagerie radar des zones agricoles

- **Surveillance, défense et renseignement :** Dans le domaine de la défense et de la sécurité, l'imagerie radar est devenue une source d'information essentielle, offrant une bonne connaissance du territoire et permettant une surveillance et une revisite fréquente sur tout point du globe [Web03].

## **II.8. Conclusion**

Les images radar peuvent être exploitées dans le domaine militaire. Elles fournissent des données plus exactes dans de mauvaises conditions. Par l'analyse de ces données, on peut extraire une masse importante d'information qui nous permettent de :

- Disposer d'une information géospatiale parfaitement opérationnelle.
- Disposer d'une vue plus claire d'une scène à surveiller.
- Réagir immédiatement en cas de crises et avec plus de précision.
- Avoir une autonomie de décision.

# Chapitre III :

## La détection des cibles mobiles



### III.1. Introduction

L'expression «détection du cible mobile» est fortement associée à la notion du «mouvement». Dans ce chapitre, nous allons détaillés l'ensemble des concepts utilisés, ainsi que les méthodes existant pour la détection du mouvement. Nous avons détaillé aussi la méthode de la localisation d'un objet en mouvement et présenter les Algorithmes solutions. Ce chapitre présente un état de l'art des travaux déjà proposés et leurs intérêts au processus de «détection du cibles mobiles».

### III.2. La notion du mouvement

Le mouvement ne se limite pas à quelques images. Aussi, il s'agit de repérer au cours du temps la position d'une ou plusieurs marques caractéristiques. Cette correspondance spatio-temporelle entre les images de la séquence peut être utilisée à des fins diverses. Elle peut permettre la connaissance des paramètres de mouvement ou déplacement au cours du temps et ainsi déterminer et même prédire la trajectoire d'un objet en mouvement.

Le problème de la détection du mouvement dans une séquence d'images consiste à séparer dans chaque image de la séquence les zones en mouvement des zones statiques. A chaque instant, chaque pixel doit ainsi être étiqueté par un identifiant binaire fixe/mobile. Lorsque l'organe de la capture est fixe, on peut effectuer une telle détection à partir des différences temporelles calculées pour chaque pixel [DER07].

### III.3. Etat de l'art

La détection et le suivi des cibles mobiles concernent de nombreux domaines d'applications de natures civiles ou militaires. Ils se basent sur l'image comme source d'information et adapte certaines approches de détection du mouvement pour aboutir à des objectifs bien définis.

Le domaine militaire a bénéficié de la plus grande partie des travaux de recherche, notamment, celles qui se basent sur les images radar à synthèse d'ouverture, mais nous remarquons dans tous ces travaux le caractère de confidentialité parce qu'ils touchent des aspects sensibles au niveau de la défense des gouvernements.

Il existe plusieurs techniques de détection du mouvement dans une séquence d'images radar spatio-temporelles. Elles sont articulées sur l'analyse des ondes résultants de l'éclairage artificielle de la scène, tenant en compte l'état du capteur fixe ou mobile, le bruit généré lors de l'acquisition et la numérisation, mais la plus part de ces méthodes se basent sur le principe de la différence temporelles des intensités lumineuses des pixels des images (frame) pour détecter et suivre la cible en mouvement.

Il existe de nombreuses méthodes pour détecter l'existence d'un mouvement, mais les plus connues sont : la différence d'image, l'approche vitesse, La modélisation markovienne, les filtres morphologiques [JUL06][ROT98].

### III.3.1. Une classe de méthodes basées vitesse

Une approche basée sur telle principe cherche à quantifier la valeur de la vitesse des objets mobiles dans la séquence d'images, une approche basée sur l'utilisation des champs vitesse est élaborée par [BOU88], l'idée principal est la stabilité de l'intensité lumineuse des pixels de l'objet en mouvement  $(x,y)$  à des instants différentes  $(t, t+dt)$ , alors la fonction d'intensité d'un pixel  $I(x,y,t)$  est identique en  $I(x+dx,y+dy,t+dt)$ , une fonction d'erreur alors appelée « *Deplaced frame defference* » **DFD** est définis par :

$$DFD(x, y, t) = f(x, y, t) - f(x+dx, y+dy, t+dt) \quad (1)$$

tel que :

$$DFD(x,y,t)=0 \text{ quelque soit } x,y,t \quad (2)$$

On cherche alors à minimiser la fonction DFD à tous point  $(x,y)$  dans l'image à un instant donné  $t$ , pour obtenir une représentation des vitesses projetées dans le plan image. L'équation ainsi obtenue (2) est connue sous le nom de « *Équation de Contrainte du Mouvement Apparent (ECMA)* ». On peut reprocher à cette méthode, outre la lourde phase d'optimisation de la DFD à chaque point de l'image, la mise en œuvre du procédé.

Les filtres orientés vitesse sont définis de telle sorte que leur réponse soit directement modulée par la vitesse présente dans la séquence d'images. La transformée de Fourier d'un filtre est composée de deux termes séparables. Le premier terme dépend uniquement du contenu fréquentiel correspondant aux deux dimensions spatiales de l'image tandis que le second terme dépend uniquement de la vitesse contenue dans la séquence. Cette propriété permet d'estimer simplement le flux optique à partir des réponses des filtres appliqué à la séquence. Toutefois, elle ne facilite pas son implantation [AMB00].

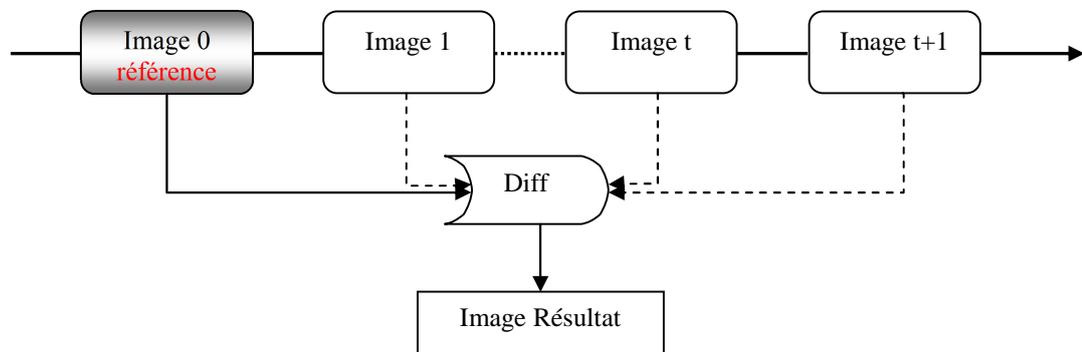
### III.3.2. Une classe de méthodes basées région

Dans l'ensemble des méthodes de cette classe, l'image résultante est obtenue par l'application d'une technique de combinaison entre l'ensemble des images acquises.

$$I_{resultat} = Combi(I_0, \dots, I_t)$$

#### III.3.2.1. Méthode basée sur la différence par rapport à une image de référence

Dans cette approche [fig III.32], une image parmi la séquence est considérée comme image de référence, la différence temporelle est ainsi calculée pour chaque image par rapport à l'image de référence [WEN83].



**Figure III.32:** différence d'image par rapport à une image de référence

#### III.3.2.2. Méthode basé différence par rapport au fond

Cette classe est une sous classe de la méthode précédente, introduite dans [JAI79] [KAR90] [TOY99] [CHE03] [PIC04] [STA00]. Elles ont en commun le principe d'utilisation d'une image référence, mais la seule différence est la considération du cas d'absence de la cible mobile comme image de référence représentée par le fond, mais les deux méthodes cherchent toujours de séparer les objets mobiles des objets statiques dans la scène.

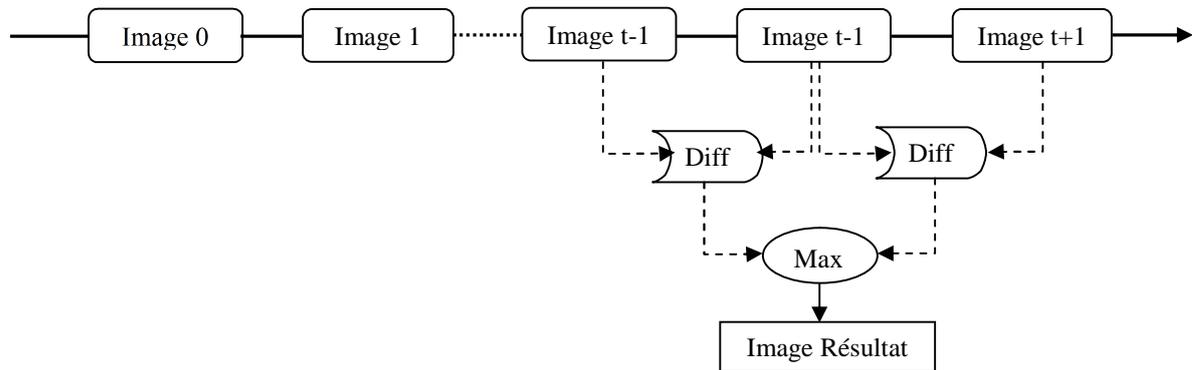
#### III.3.2.3. Méthode basé différence entre images successives

Dans cette méthode, l'image résultat est obtenue par l'une des deux approches suivantes :

##### a. Différence successive et Max :

Considérant trois images successives, l'image résultat [fig III.33] est donnée par :

$$I_{\text{resultat}} = \text{Max} (|(I_t) - (I_{t-1})|, |(I_{t+1}) - (I_t)|)$$

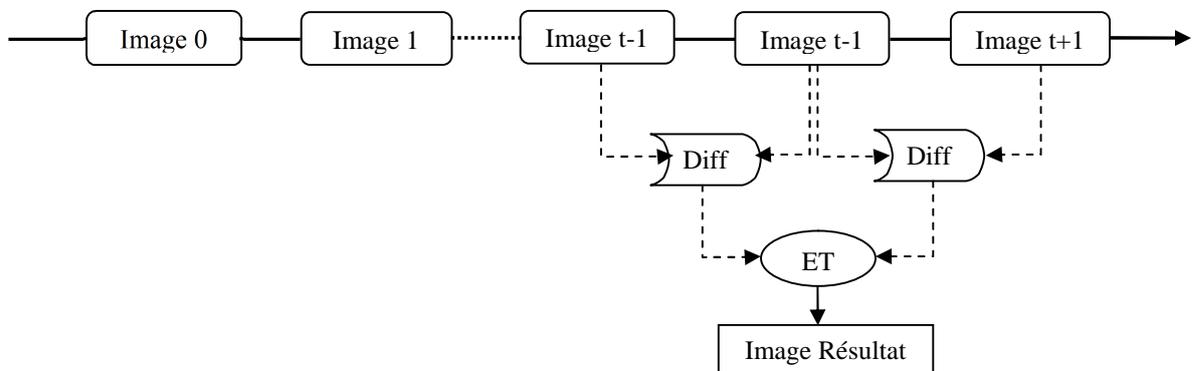


**Figure III.33:** différence d'images successives et Max

#### b. Différence successive et ET :

Dans ce cas, l'image résultat [fig III.34] est donnée par

$$I_{\text{resultat}} = \text{ET} (|(I_t) - (I_{t-1})|, |(I_{t+1}) - (I_t)|)$$



**Figure III.34:** différence d'images successives et ET

#### III.3.2.4. La différence par rapport au fond mobile

C'est un cas spécial de « la différence par rapport au fond ». Dans cette approche, on prend en considération le cas du capteur en mouvement, alors, la différence est calculée entre une image de la séquence et l'image du fond à un instant donné  $t$ , le fond se change selon l'état actuelle du capteur.

### III.3.3. La modélisation markovienne

La troisième catégorie est basée sur la modélisation markovienne particulièrement adaptée au traitement d'image bas-niveau car intégrant l'ensemble des propriétés locales des images. Cette modélisation engendre des calculs qui sont locaux et donc massivement parallélisables ce qui la rend intéressante pour le développement d'algorithmes temps réel.

L'approche markovienne est pertinente dans le cadre de la détection du mouvement car il n'est pas rare qu'une scène abrite des régions (ou des pixels) où le mouvement est plus souvent observés (plus probable). Moyennant l'hypothèse d'une caméra fixe et d'éclairage quasi constant de la scène, il existe un lien entre objets mobiles et changements temporels de la fonction de luminance. Cela conduit naturellement à prendre comme observation la valeur absolue de la dérivée temporelle de la fonction de luminance  $I(x, y, t)$  qui est approchée numériquement par une différence entre les instants  $t$  et  $t - dt$  [JUL06]:

$$Y(x, y, t) = |I(x, y, t) - I(x, y, t - dt)|$$

Par ailleurs, les étiquettes pertinentes dans le cas de la détection sont les suivantes :

$$I(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{fixe} \\ 1 & \text{mobile} \end{cases}$$

Les informations de mouvement ou observations issues de la séquence d'image sont définies en chaque site  $s=(x, y)$  par [KES01]:

$$o_t(s) = |I_{t+1}(s) - I_t(s)|.$$

La détection de mouvement vise à trouver la meilleure estimation de l'étiquette  $e(s)$  (fixe ou mobile) étant donné l'observation  $o_t(s)$ . L'estimateur utilisé est celui du maximum à posteriori (MAP).

Maximiser la probabilité a posteriori revient à rechercher le minimum d'une fonction d'énergie globale  $U(o_s, e_s)$ , cette opération est effectuée par l'algorithme itératif de relaxation déterministe ICM (Iterated Conditional Modes).

L'application de la modélisation markovienne à la détection du mouvement se fait alors en trois étapes :

- une étape de modélisation.
- une étape de simulation.
- une étape d'optimisation.

### III.3.4. Les Filtres morphologiques

Introduite dans [DEC97] [SAL02] [AGN00], ont été employés pour analyser des séquences vidéo. En utilisant un élément structurant spatiotemporel, une amplitude de variation locale peut-être calculée comme mesure de vraisemblance du mouvement. Une telle mesure peut être utile pour détecter de petites amplitudes de mouvement, mais comme elle est sensible au bruit spatial, elle est souvent intégrée sur des régions entières en utilisant des opérateurs connexes [JUL06].

Le principe de base de la morphologie mathématique est de comparer l'image à analyser par rapport aux éléments structurant que l'on déplace de façon à ce que son origine passe par toutes les positions de l'image, pour mettre en évidence certaines caractéristiques de l'image. En suivant ce principe, il est alors possible de [LAO09]:

- Rechercher la plus grande valeur, ou la plus petite, dans le domaine de l'image défini momentanément par la présence de l'élément structurant et l'affecter au pixel de l'image sur lequel le centre de l'élément structurant est positionné.
- Rechercher dans l'image, une configuration géométrique de pixels particulières correspondantes à celles de l'élément structurant utilisé, ceci définit les opérateurs d'épaississement et d'amincissement.

La différenciation trame à trame se fait par l'utilisation d'éléments structurants spatiotemporels. Elle permet de calculer des filtres spatio-temporels, et d'intégrer des changements temporels par accumulation. Elle permet d'autre part de discriminer un déplacement donné en orientant l'élément structurant dans la direction correspondante.

L'espace-temps discret est assimilé  $(z)^3$  avec deux dimensions spatiales  $x, y$  et une dimension temporelle  $t$ , un élément structurant spatio-temporel  $B$  est défini comme un voisinage de l'origine dans  $(z)^3$ . Considérons une séquence d'image  $I_t(x, y)$  où  $t$  est un index de temps et  $(x, y)$  un index de l'espace bidimensionnel, les filtres morphologiques temporels sont définis en utilisant un élément structurant temporel  $T = [t_1, t_2]$  avec  $t_1$  et  $t_2$  deux instants tels que  $t_1 < t_2$ .

Nous citons par la suite deux types de morphologies :

- **L'érosion temporelle et la dilatation temporelle**

L'érosion temporelle [fig III.35.c] noté  $E$  d'un élément structurant temporelle  $T$  pour une image donnée est noté  $E_T(x, y, t)$  se définit par :

$$E_T(x, y, t) = \text{Min} (I_{t+z}(x, y)) \text{ tel que } z \in T.$$



(a) : image à l'instant t



(b) : image à l'instant t+4



(c) : érosion temporelle à t+4

**Figure III.35:** l'érosion temporelle

La dilatation temporelle noté  $D$  d'un élément structurant temporelle  $T$  pour une image donnée est noté  $D_T(x, y, t)$  se définit par :

$$D_T(x, y, t) = \text{Max} (I_{t+z}(x, y)) \text{ tel que } z \in T.$$

Par les deux images prises aux instants t [fig III.35.a], t+4 [fig III.33.b] de la figure précédente, le résultat de la dilatation temporelle [fig III.36.b] est la suivante :

**Figure III.36:** dilatation temporelle à t+4

### III.4. La différence d'image

La plupart des techniques de détection du mouvement dans la séquence d'images  $I(x, y, t)$  se fondent sur l'estimation du module du gradient temporel. Si les conditions d'éclairage sont constantes entre deux images consécutives alors une variation significative du niveau de gris d'un pixel entre deux images impliquera l'existence d'un mouvement.

D'autres méthodes s'appliquant sur des images binaires, utilisent le principe de la différence d'images en se basant sur les opérateurs logiques (XOR) et (XOR et AND) [DER07].

Aux instants  $t$  et  $t-dt$ , en notant  $I(x, y, t)$  l'intensité lumineuse à l'instant  $t$  du point  $p$  de coordonnées  $(x, y)$  dans le plan image, la différence temporelle s'exprime par :

$$DF(x, y, t) = |I(x, y, t) - I(x, y, t-dt)|$$

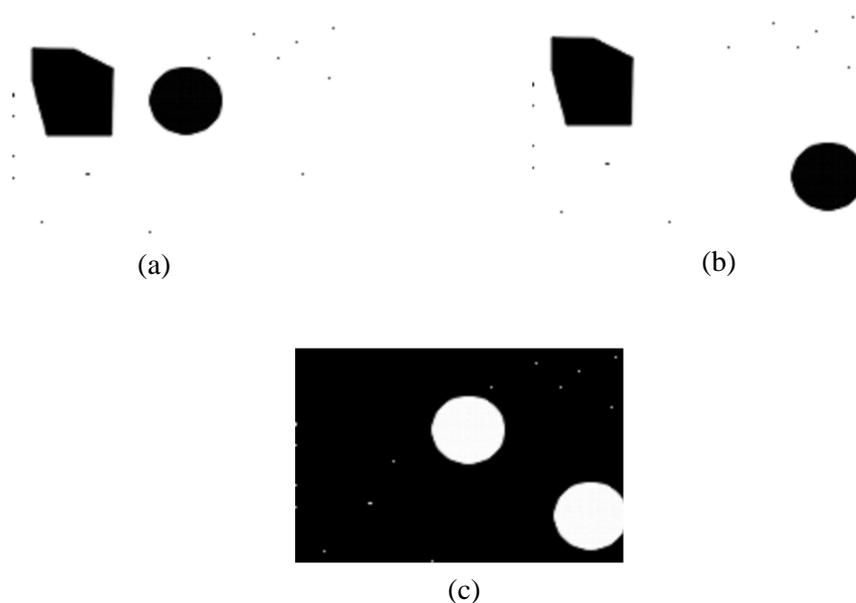
- $I(x, y, t-dt)$  représente l'intensité du pixel  $(x, y)$  de l'image  $I$  à l'instant  $t-dt$ .
- $I(x, y, t)$  représente l'intensité du pixel  $(x, y)$  de l'image  $I$  à l'instant  $t$ .
- $DF(x, y, t)$  représente l'intensité du pixel  $(x, y)$  de l'image de différence à l'instant  $t$ .

L'image  $DF(I_t, I_{t-dt})$  ainsi obtenue est alors nulle, en tout point où le signal d'entrée  $I$  reste constant. Dans le cas où il existe des changements dans les points (pixels) de deux images, on obtient des «1».

On peut exprimer la différence en utilisant l'opérateur logique XOR par la formule :

$$DF(x, y, t) = I(x, y, t) \text{ XOR } I(x, y, t-dt)$$

Le résultat de l'application [fig III.37.c] sur deux images binaires nous donne, la position initiale et finale de l'objet en mouvement.

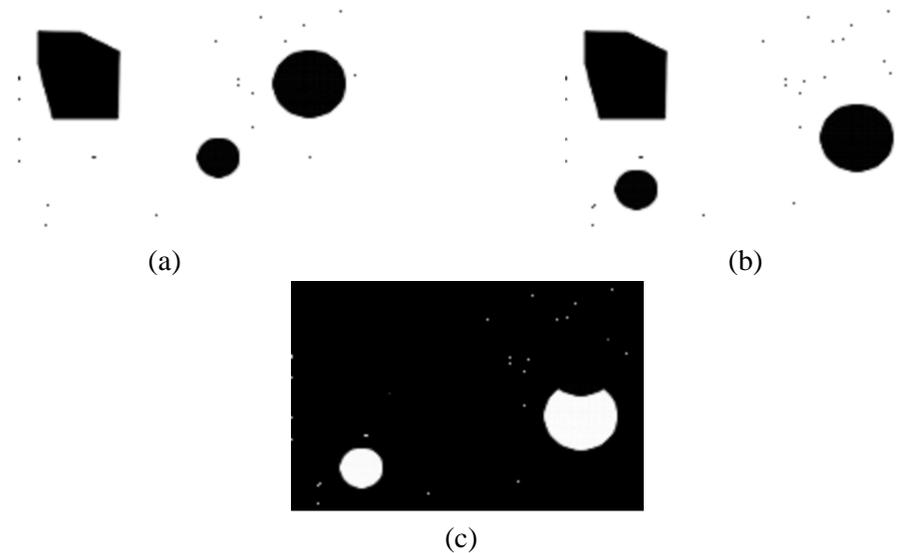


**Figure III.37:** exemple différence entre deux images par XOR [DER07]

La différence d'image en utilisant (XOR et AND) s'exprime par :

$$DF(x, y, t) = [I(x, y, t) \text{ XOR } I(x, y, t-dt)] \text{ AND } [I(x, y, t) \text{ XOR } \text{Fond}]$$

L'image résultante [fig III.38.c] représente l'indication de la position finale de l'objet en mouvement.



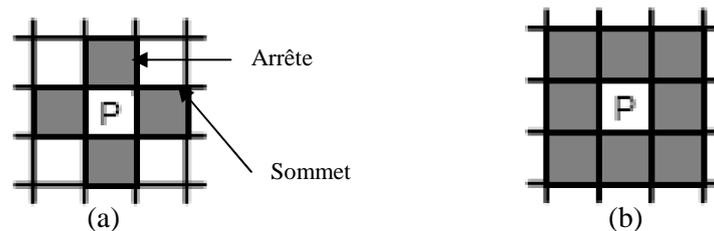
**Figure III.38:** exemple de différence d'image par XOR et AND

## III.5. Etiquetage en composante connexe

### III.5.1. Notion de voisinage

On peut définir deux types de voisinages :

- deux pixels sont dits 4-adjacents (ou 4-voisins) [fig III.39.a] s'ils se touchent par une arête.
- deux pixels sont dits 8-adjacents (ou 8-voisins) [fig III.39.b] s'ils se touchent par une arête ou par un sommet.



**Figure III.39:** 4-voisins et 8-voisins

### III.5.2. Le chemin connexe

Une suite de pixels  $p_1, p_2, \dots, p_n$  constitue un 4-chemin [fig III.40] si chaque paire de pixels  $p_i$  et  $p_{i+1}$  sont 4-voisins.

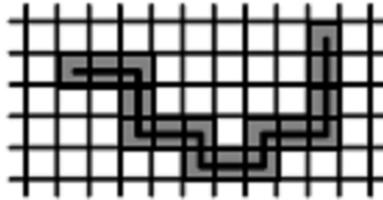


Figure III.40: 4-chemin

Une suite de pixels  $p_1, p_2, \dots, p_n$  constitue un 8-chemin [fig III.41] si chaque paire de pixels  $p_i$  et  $p_{i+1}$  sont 8-voisins.

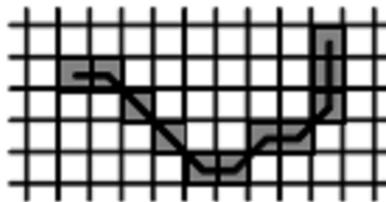


Figure III.41: 8-chemin

### III.5.3. La composante connexe

Un ensemble  $S$  de pixels est une composante 4-connexe [fig III.42] si et seulement si pour toute paire de pixels  $p, p' \in S$ , il existe un 4-chemin  $p_1, p_2, \dots, p_n$  tel que :  
 $p_1=p, p_n=p'$  et tous les  $p_i \in S$ .

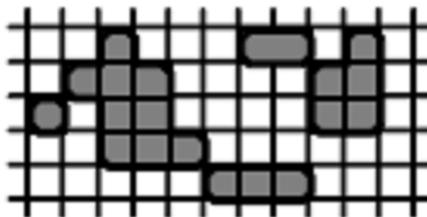


Figure III.42: 5 composantes de 4-connexes

Un ensemble  $S$  de pixels est une composante 8-connexe [fig III.43] si et seulement si pour toute paire de pixels  $p, p' \in S$ , il existe un 4-chemin  $p_1, p_2, \dots, p_n$  tel que :  
 $p_1=p, p_n=p'$  et tous les  $p_i \in S$ .



Figure III.43: 2 composantes de 8-connexes

### III.5.4. L'algorithme d'étiquetage en composante connexe

Consiste à affecter une même étiquette aux pixels appartenant à une même composante connexe.

L'algorithme d'étiquetage en composantes connexes détecte les adjacences entre pixels et définit l'étiquette du point courant en fonction de celle des points voisins. La méthode la plus classique repose sur un balayage séquentiel de l'image. On considère pour chaque point  $p$  ses voisins. Ces points sont les «prédécesseurs » de  $p$  lors d'un balayage ligne par ligne de l'image.

Pour réduire à deux le nombre de balayages de l'image, il est nécessaire de construire une table d'équivalence  $T$  qui permet de gérer les équivalences d'étiquettes qui apparaissent lors du parcours séquentiel [DER07].

L'Algorithme correspondant est le suivant :

```

Algorithme Etiquetage en composantes connexes
Debut
   $K := 1$  ;
  Pour chaque pixel  $p$  de l'image  $I$  Faire
    Si tous les prédécesseurs de  $I[p]$  sont à Zéro Alors
       $E[p] := K$  ; //  $E$  représente l'image d'étiquette.
       $K := K+1$  ;
    Sinon
      Si tous les prédécesseurs de  $I(p)$  ont la même étiquette  $e$  Alors
         $E[p] := e$  ;
      Sinon
        soit  $e = \text{Min}\{ E[Pp] \text{ tel que } : ( Pp \in \{ \text{ensemble des} \}$ 
        prédécesseurs de  $p \}) \text{ et } ( E[Pp] \neq 0 ) \}$  ;
         $E[p] := T[e]$  ;
      Pour chaque prédécesseur d'étiquette  $ep$  tq :  $T[ep] \neq T[e]$  Faire
        Tant que  $T[ep] \neq T[e]$  Faire
           $m := T[ep]$  ;
           $T[ep] := T[e]$  ;
           $ep := m$  ; //  $m$  représente une variable temporaire
          // utilisée pour la permutation .
        FinTq
      FinPour
    FinSi
  FinPour
Fin.

```

Après l'exécution de l'algorithme, on actualise la table  $T$  de manière à ce qu'à tout indice corresponde l'étiquette définitive de l'objet (les étiquettes attribuées aux objets dans l'image ne seront pas forcément consécutives):

```
Algorithme Mise à jour de la table d'équivalence  
Pour  $k := 1$  Jusqu'au nombre maximum d'étiquettes utilisées Faire  
   $m := k$  ;  
  Tant que  $T[m] \neq m$  Faire  
     $m := T[m]$  ;  
     $T[k] := m$  ;  
  FinTq  
FinPour
```

Un second balayage de l'image d'étiquette sera effectué pour affecter à chaque pixel de l'image des étiquettes, son étiquette équivalente dans la table **T**.

### III.6. Conclusion

Dans ce chapitre, des travaux de recherche destinés au domaine de détection du mouvement sont présentés, cependant la majorité des travaux restent toujours secrets parce qu'ils ont un caractère militaire qui nécessitent des termes de contrat pour accéder à leurs contenu. Nous avons cités quelques approches incluses dans le cadre de surveillance de l'environnement par radar sans entrer dans les détails.

Nous avons présenté aussi le principe « d'étiquetage en composante connexe » nécessaire à la localisation de l'objet d'intérêt parmi les objets de la scène.

# Chapitre IV : Conception et réalisation



## IV.1. Introduction

Le travail porte sur la détection des cibles mobiles dans les images radars. Dans ce chapitre nous allons détailler la démarche proposée pour mettre en œuvre le prototype élaboré, dès le prétraitement des images radar de basses résolutions, passant par la détection du mouvement et la localisation de la cible, jusqu'à arriver au but final qui est le suivi de la cible suspecte dans une zone interdite.

## IV.2. La démarche proposée

Notre approche s'articule sur cinq étapes principales. Chaque étape a un intérêt crucial dans le processus de la détection et le suivi, et se termine par un résultat qui va représenter à son tour un point de départ pour l'étape suivante.

Les étapes de l'approche sont illustrées par le diagramme [fig IV.44] suivant :

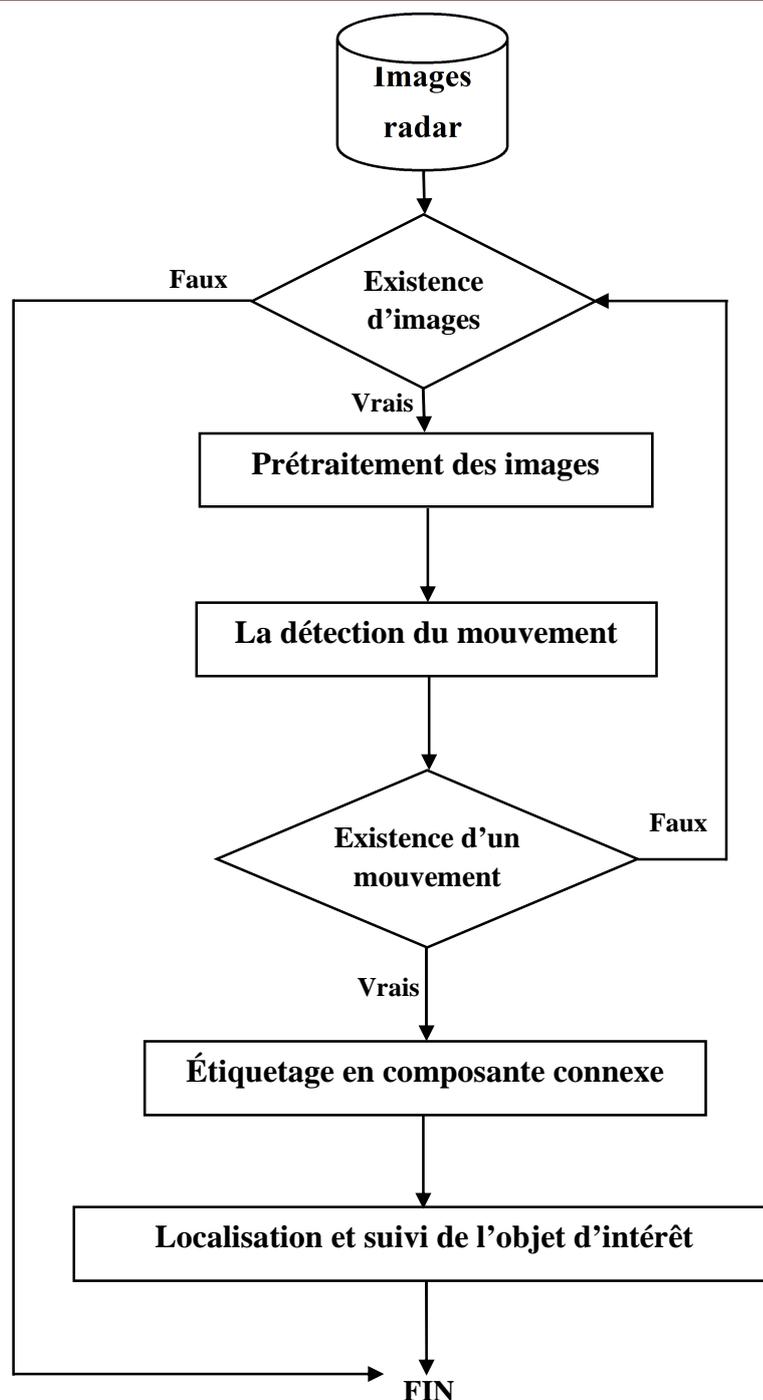


Figure IV.44: approche proposée

### IV.2.1. Les données

L'image radar est caractérisée par sa haute résolution qui peut atteindre jusqu'à des centaines de mètres. Ceci permet la couverture de très larges surfaces et de représenter une quantité importante d'information, ce qui rend sensible toute application basée sur les images radar, notamment celle de nature militaire.

De ce fait, nous avons utilisé des images radar ISAR 256 niveaux de gris, acquises par un radar militaire à synthèse d'ouvertures issues des travaux de [SAI09], de « M.N. Saidi, A. Toumi, B. Hoeltzener, A. Khenchaf » membre de laboratoire « E3I2-EA3876 ENSIETA, Brest, France », et « D. Aboutajdine » membre de laboratoire « GSCM-LRIT, Université Mohamed V-Agdal, faculté des sciences Rabat, Maroc », de leurs travaux de recherche dans le domaine militaire pour la reconnaissance de formes dans les images ISAR.

Malgré la qualité réduite des images, nous avons essayé de présenter une application de façon à tenir compte de toutes les étapes de la démarche proposée, pour pouvoir exprimer clairement l'influence de chaque étape sur ce type d'images.

### **IV.2.2. Le Prétraitement des images**

Les images acquises par le système radar sont affectées par le chatoiement même dans les meilleures conditions d'acquisition. Dans le but d'améliorer leurs aspects, nous avons procédé à un prétraitement systématique de toutes les images. C'est une phase qui sert à préparer les données pour la phase suivante du processus de détection en réduisant le nombre de pixels non appartenant aux composantes connexes principales considérées comme objets d'intérêts.

Les filtres non-linéaires représentent une solution idéale pour tel type de bruit. Nous avons choisis d'appliquer une fonction de rehaussement des niveaux de gris et un filtre passe-bas, médian.

#### **IV.2.2.1. Le rehaussement des niveaux de gris**

Consiste à appliquer une transformation sur l'intensité de chacun des pixels de l'image dans le but d'étaler l'ensemble des intensités de l'image sur toute l'échelle des niveaux de gris disponible, soit de 0 à 255 niveaux [MAH97].

Dans notre cas nous avons choisis d'appliquer cette fonction dans le but de mieux éclairer les régions de faible intensité résultantes du signal réfléchi par un filtre laplacien composite. C'est un filtre de convolution particulier utilisé pour mettre en valeur les détails qui ont une variation rapide de luminosité. Le laplacien est alors idéal pour rendre visible les contours des objets, d'où son utilisation dans les applications de la détection et la reconnaissance dans les domaines militaires puis civiles.

D'un point de vue mathématique, le laplacien est une dérivé d'ordre 2 à deux dimensions exprimé par [LIN04]:

$$L(x, y) = \frac{\partial^2 I(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I(x, y)}{\partial y^2}$$

Au départ, l'image n'est pas une fonction continue, mais une fonction discrète à cause de la numérisation effectuée. La dérivée seconde est alors obtenue par approximation. Le masque laplacien composite utilisé est le suivant:

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

L'effet de cette opération est illustré par la figure [fig IV.45.b] suivante :



**Figure IV.45:** rehaussement des niveaux de gris

Le laplacien est sensible au bruit, ce qui apparaît comme grains dans l'image résultante et nécessite un filtrage supplémentaire.

#### IV.2.2.2. Le filtrage médian

Nous avons choisis d'utiliser le filtre médian parce qu'il affecte à chaque pixel la valeur médiane de ses voisins de façon à éliminer les points isolés.

Contrairement aux lissages, ce filtre n'introduit pas de flou sur les contours des autres régions, il joue aussi le rôle d'une phase complémentaire de la phase précédente parce qu'il élimine l'effet secondaire du laplacien (cf I.6.1.2).

Ce filtre donne de très bons résultats de part son principe sur le bruit impulsionnel. Il supprime par contre les détails fins.

L'effet du filtre médian sur les images [fig IV.46.a] utilisées est illustré par la figure [fig IV.46.b] :



**Figure IV.46:** l'effet de médian sur l'image radar

### IV.2.3. La détection du mouvement

L'objectif est de détecter la présence d'une cible mobile dans la série d'images. Pour cela nous avons choisis d'utiliser un algorithme basé différence d'images (cf III.4), c'est un algorithme de faible complexité.

Dans notre cas, nous avons choisis de calculer à chaque itération de l'algorithme la différence entre l'image courante et une image de référence. Cette dernière est représentée par une image de la zone du flush radar dans le cas d'absence d'une cible.

La formule utilisée alors est la suivante :

$$DF(x, y, t) = I(x, y, t) XOR I(x, y, t-dt)$$

Dans ce cas,  $I(x,y,t-dt)$  représente le fond.

L'opérateur logique XOR n'admet que des 1 et des 0. Il faut alors transformer en binaire toutes les images manipulées. L'image résultante est nulle dans le cas d'absence de la cible. Par contre, dans le cas sa présence, elle contient des 1 dans les régions où les pixels ont subi un changement d'intensité.

Les combinaisons possibles de l'opérateur XOR sont :

<b>I(x,y,t)</b>	<b>I(x,y,t-dt)</b>	<b>XOR</b>
0	0	0
0	1	1
1	1	0
1	0	1

**Tableau IV.3:** la combinaison des valeurs logiques par XOR

La surface des régions dont les valeurs ont subit un changement est calculé en fonction du nombre de pixels qui ont la valeur 1 dans l'image résultante de l'opération de différence. Le résultat obtenu doit être comparé à un seuil de mouvement représenté par le nombre minimal de pixel considéré comme mouvement existant. Nous Considérons le nombre pixels bruit qui ont la valeur 1 dans l'image fond comme seuil du mouvement.

Dans le cas d'existence d'un mouvement, la différence temporelle entre les deux dernières images successives est calculée selon la formule XOR et AND pour obtenir la position finale de la cible en mouvement :

$$DF(x, y, t) = [I(x, y, t) XOR I(x, y, t-dt)] AND [I(x, y, t) XOR Fond]$$

Les combinaisons possibles des valeurs logiques sont :

<b>I(x, y, t)</b>	<b>I(x, y, t-dt)</b>	<b>Fond</b>	<b>XOR et AND</b>
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

**Tableau IV.4:** la combinaison des valeurs logiques par XOR et AND

#### IV.2.4. L'étiquetage en composante connexe

L'algorithme d'étiquetage en composantes connexes a été appliqué afin d'obtenir l'ensemble des objets qui constituent la scène. Chacun de ces derniers est suspect d'être une cible mobile pour laquelle nous calculons surface. L'objet dont la surface est la plus grande sera considéré comme cible à localiser et suivre (cf III.5).

#### IV.2.5. La localisation et le suivi de l'objet d'intérêt

Consiste à détecter la boîte englobant l'objet d'intérêt en calculant les coordonnées de la cible dans un repère bidimensionnel limité par la taille de l'image. Ces derniers sont utilisés pour le calcul du centre de gravité de l'objet d'intérêt. Les coordonnées du centre de gravité sont données par :

$$X = x1 + ((x2 - x1)/2)$$

$$Y = y1 + ((y2 - y1)/2)$$

Tel que :  $x1$ ,  $x2$  et  $y1$ ,  $y2$  représentent les coordonnées de la boîte englobant la cible.

La variation des coordonnées  $(x, y)$  du centre de gravité de l'objet d'intérêt nous donne à la fin du processus de détection la trajectoire de la cible mobile [fig IV.47].

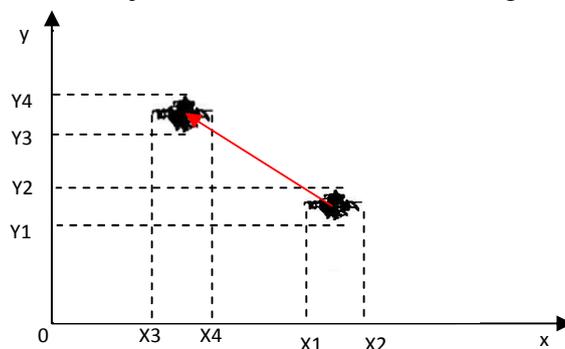
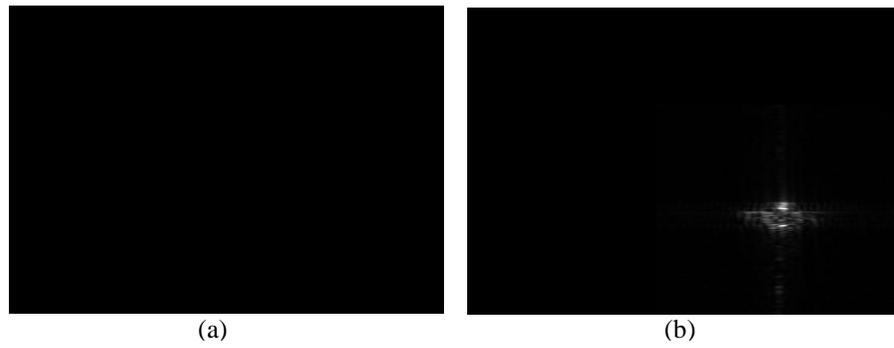


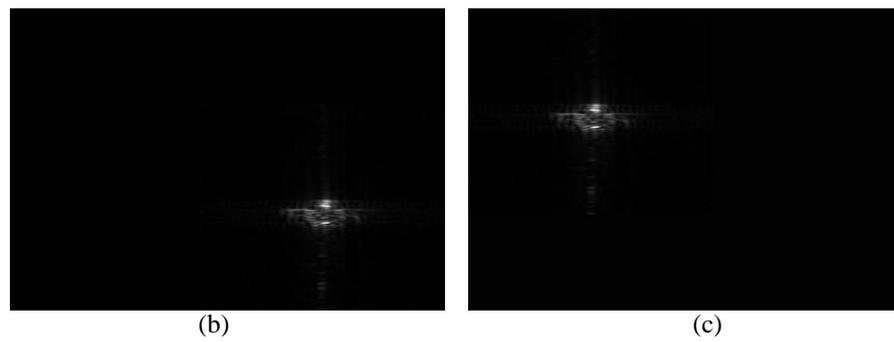
Figure IV.47: les coordonnées de la cible dans un repère 2D

### IV.3. Résultats et critiques

Une série de trois images spatiotemporelles [fig IV.48] et [fig IV.49] de basse résolution obtenue à partir d'un système radar, d'un radar terrestre à synthèse d'ouverture inverse (ISAR) a été utilisée. Les images sont prises dans des bonnes conditions. La cible mobile est représentée par un avion de chasse. Nous nous sommes limités à la considération d'une seule cible mobile.

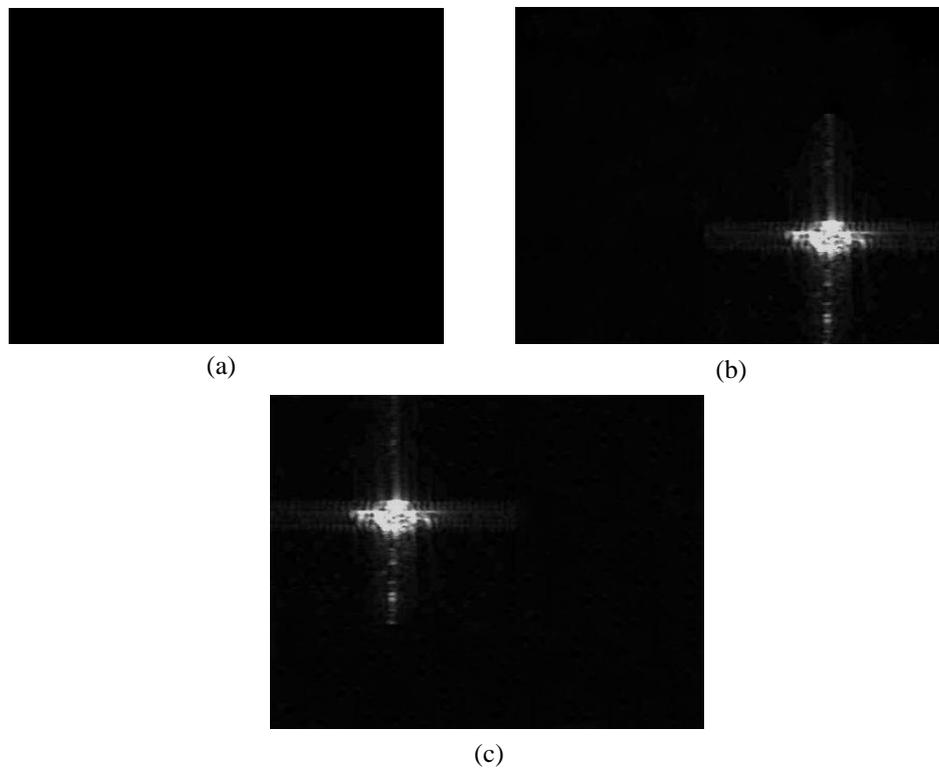


**Figure IV.48:** couple1 des images ISAR



**Figure IV.49:** couple2 des images ISAR

La figure [fig IV.50.c] représente les résultats obtenus après la phase de prétraitement :

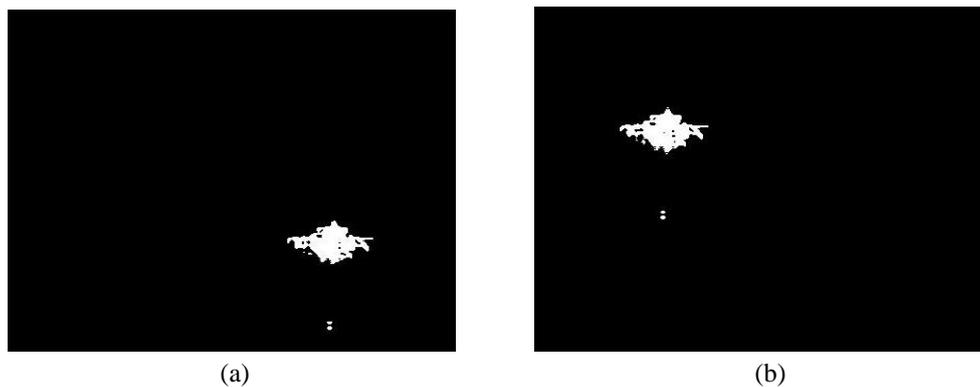


**Figure IV.50:** résultats du prétraitement des images ((a), (b), (c))

On constate que les images résultantes sont plus claires, d'un contraste plus élevé. Les contours de la cible sont continus, ce qui facilite la tâche de localisation mais il reste toujours une partie de chatoiement sous forme de petits grains ou des régions isolées qui nécessitent d'autres traitements.

Après l'application du filtre médian, nous avons remarqué la réduction de l'effet du bruit à cause du principe de ce filtre qui sert à remplacer la valeur homogène d'un pixel par la valeur médian parmi ses voisins, ce qui élimine ou bien réduit le nombre de petites régions qui ont un petit nombre de pixels.

La figure [fig IV.51] représente les images différence après l'application des opérateurs logiques XOR et AND (cf IV.2.3), sur les couples ((a), (b)) [fig IV.51.a], et ((b), (c)) [figIV.51.b].



**Figure IV.51:** images différence

L'image résultante montre la cible en mouvement à son emplacement final, ce qui indique le changement des intensités lumineuses des pixels dans les nouvelles coordonnées de la cible à l'instant donné. Comme le prétraitement systématique nous donne toujours des résultats approximatifs ce qui explique l'existence des régions chatoiement après chaque étape. Dans le cas d'absence de la cible en mouvement, on obtient une image nulle.

L'algorithme d'étiquetage en composante connexe [fig IV.52] a permis de visualiser une liste d'objets connexes, parmi lesquels il faudra localiser la cible. Le reste des objets sera négligé en tant que bruit. L'objet de plus grande surface sera dédié comme cible.

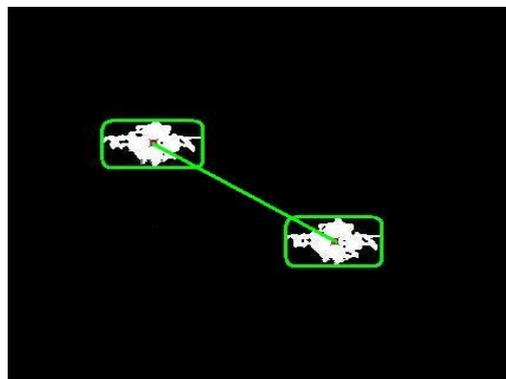


**Figure IV.52:** représentation des composantes connexes

Dans la dernière phase [fig IV.53] (le suivi de la cible mobile), nous avons obtenu les coordonnées du centre de gravité de la cible, en calculant d'abord les coordonnées de sa boîte englobant.

Le trajet est tracé en reliant les points représentant le centre de gravité de la cible à des instants différents.

Le processus de détection et suivi, se termine lorsque la cible sort de la zone surveillée par radar. Un rapport contenant la liste des coordonnées dans les instants différents sera édité.



**Figure IV.53:** localisation et suivi de la cible

Le résultat final d'application des étapes précédentes sur une série d'images spatiotemporelles [fig IV.54] est illustré sur la fenêtre d'exécution de notre prototype.

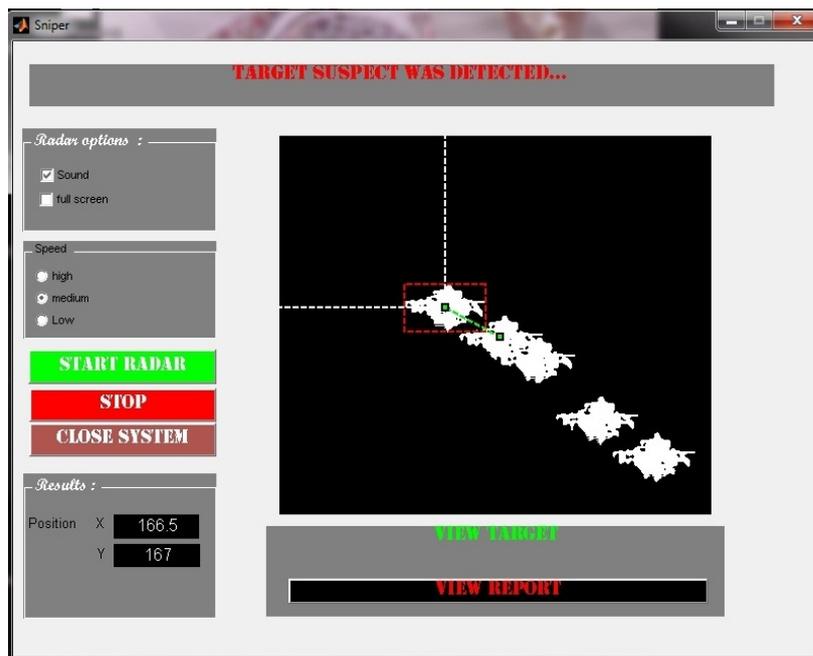


Figure IV.54: résultat final d'exécution du prototype

## IV.4. L'environnement de programmation

Nous avons utilisé MATLAB7.0. C'est un logiciel de calcul matriciel à syntaxe simple. Avec ses fonctions spécialisées, MATLAB7 est considéré comme un langage de programmation adapté pour les problèmes scientifiques.

MATLAB7 est un interpréteur: les instructions sont interprétées et exécutées ligne par ligne.

MATLAB7 fonctionne dans plusieurs environnements tels que Windows, Macintosh.

### IV.4.1. Modes de fonctionnement

Matlab7 [Fig IV.55] a deux modes de fonctionnement:

- **mode interactif:** MATLAB7 exécute les instructions au fur et à mesure qu'elles sont données par l'utilisateur.
- **mode exécutif:** MATLAB7 exécute ligne par ligne un "fichier M" (programme en langage MATLAB7).

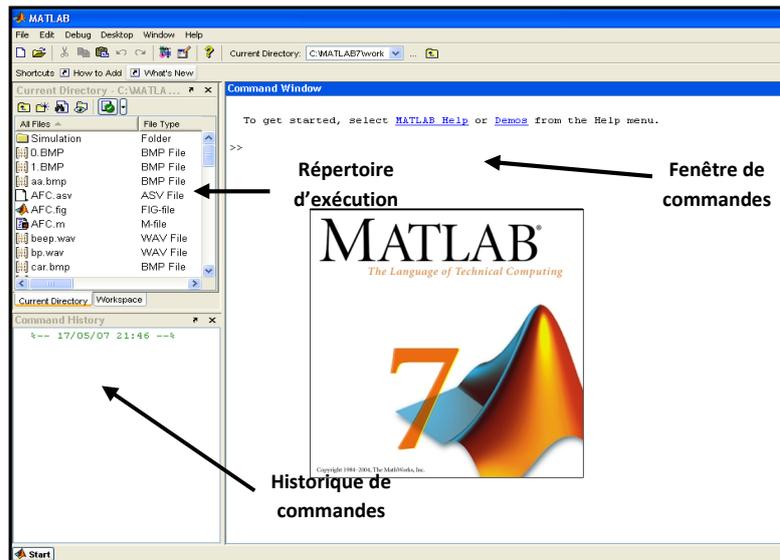


Figure IV.55: interface Matlab7

#### IV.4.2. Composants principaux

Les composants principaux qui constituent l'environnement Matlab7 sont illustrés par la figure [fig IV.56] suivante:

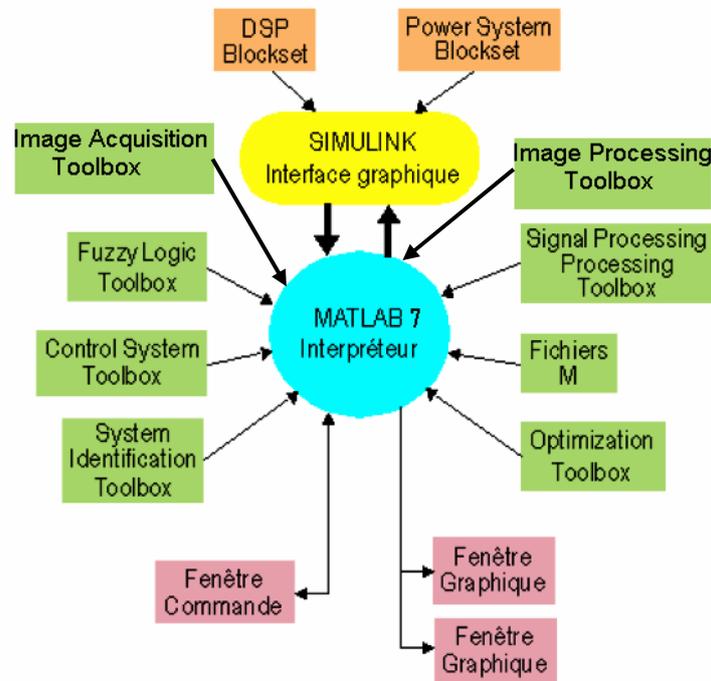


Figure IV.56: les composants de l'environnement Matlab7

- **Fenêtre Commande:** Dans cette fenêtre, l'utilisateur donne les instructions et MATLAB7 retourne les résultats.
- **Fenêtres Graphique:** MATLAB7 trace les graphiques dans ces fenêtres.
- **Fichiers M:** Ce sont des programmes en langage MATLAB7 (écrits par l'utilisateur).
- **Toolboxes:** Ce sont des collections de fichiers M développés pour des domaines d'application spécifiques (Signal Processing Toolbox, Image processing toolbox, Image Acquisition Toolbox, System Identification Toolbox, Control System Toolbox, u-Synthesis and Analysis Toolbox, Robust Control Toolbox, Optimization Toolbox, Neural Network Toolbox, Spline Toolbox, Chemometrics Toolbox, Fuzzy Logic Toolbox,...).
- **Simulink:** C'est l'extension graphique de MATLAB7 permettant de travailler avec des diagrammes en blocs. Les **Blocksets** sont des collections de blocs Simulink développés pour des domaines d'application spécifiques (DSP Blockset, Power System Blockset,...).

#### IV.5. Conclusion :

Les résultats concernent des images prises par un radar fixe et relatives à une zone bien déterminée. Ces résultats semblent être encourageants notamment au niveau des étapes de la localisation et le suivi. Néanmoins le prétraitement systématique peut conduire à la perte d'information pertinente ainsi qu'à des difficultés de localisation de l'objet d'intérêt par rapport aux autres objets de la scène. Le problème de chatoiement reste la cause principale des problèmes de la surveillance par radar.

# Conclusion et perspectives



## **Conclusion et perspectives**

Le traitement d'images est l'un des plus importants axes de recherches d'actualités, à cause de son intérêt crucial pour de nombreux domaines d'applications de nature civile et militaire.

Dans ce dernier, l'image radar joue un rôle principal, et présente une donnée idéale à cause de sa richesse informationnelle, ainsi que sa caractéristique d'acquisition qui supporte les pires de cas. Contrairement aux images acquises par des caméras classiques, les images radar sont moins affectées par les changements climatiques, ce qui rend la tâche de la surveillance d'une zone par un radar à synthèse d'ouverture plus efficace mais nécessite toujours un énorme matériel.

Dans notre travail, nous avons proposé une approche basée sur le traitement des images radar de nature militaire acquises par un radar terrestre fixe de type ISAR, d'une zone aérienne, dans le but de détecter et suivre des cibles en mouvement.

Notre approche est constituée d'un ensemble de processus simples et efficaces, hérités des traitements classiques des images numériques. Chaque processus est constitué des fonctions choisies selon certaines caractéristiques de tel type d'images. Nous avons choisis les prétraitements appropriés. Dans le but d'éclaircir l'image, une fonction de rehaussement des niveaux de gris est mise en place. Pour réduire l'effet du chatoiement, un filtre médian conservant les contours et les détails des régions est implémenté.

Afin de détecter l'existence du mouvement, nous avons implémenté une fonction de faible complexité basée sur le principe de la différence d'images par rapport au fond fixe. Cette dernière est efficace lorsqu'il s'agit des images résultants des radars de type (SAR), (ISAR) des zones aériennes à cause du nombre limité des objets de la scène.

En fin, nous avons procédé à un étiquetage en composante connexe pour localiser la cible en mouvement.

Les résultats obtenus sur ces deux couples d'images peuvent constituer une première évolution de notre approche. L'indisponibilité d'images pour le traitement de telle

problématique constitue un point handicapant pour une évolution plus vaste. Ceci est dû au caractère secret de ce type particulier de données.

En Perspectives :

- ✓ Généraliser cette approche de détection en intégrant d'autres caractéristiques comme la forme, le contexte ainsi que le temps de réponse.
- ✓ Traiter le cas de la présence de plusieurs cibles simultanées dans la zone du flash radar.
- ✓ Inclure des connaissances géométriques relatives à la zone surveillée, dans le but de mieux enrichir le sens des coordonnées de la cible mobile et permettre l'utilisation de tel type d'application sur terrain avec plus d'efficacité et de précision.

# Références bibliographiques



## Références bibliographiques

[ACH03]: C. ACHARD, sur la base des cours de J. DEVARS et M. MILGRAM, « Cours de traitement d'images », 2003.

[AGN00]: V. AGNUS, C. RONSE and F. HEITZ, «Spatio-temporal segmentation using morphological tools», 15th ICPR, Barcelona, Spain, 2000.

[ALM08]: G. ALMOUZNI, « Traitement numérique des images », EISTI, 2008.

[AMB00]: S. AMBELLOUIS, « Analyse du mouvement dans les séquences d'images par une méthode récursive de filtrage spatio-temporel sélectif », Thèse de doctorat, Université de Lille, France, 2000.

[AMR09]: S. AMRI, « Approche multi-agents pour la segmentation d'image », Mémoire de magistère, Centre universitaire de Khenchla, Algérie, 2009.

[BEA92]: M. BEAUDOUIN-LAFON, « Informatique Graphique II : Traitement d'images », Basée sur R.C. GONZALEZ and R.E.WOODS, « Digital Image Processing », Addison Wesley Edition, 1992.

[BEN02] : J. BENESTY, « Traitement des signaux numériques – II Filtrage adaptatif et analyse spectrale », INRS-EMT, Montréal, A base de : S. HAYKIN, « Adaptive Filter Theory », Fourth Edition, Prentice Hall, 2002.

[BER03] : N. BERTAUX (1), Y. FRAUEL (2,3), B. JAVIDI (2), « Algorithme de réduction de speckle basé sur le Maximum de Vraisemblance et modélisation des niveaux de gris par un maillage triangulaire continu », (1) Institut Fresnel, Equipe -TI - Domaine Universitaire de Saint Jérôme, France, (2) ECE Dept, U157, UCONN Storrs - CT – USA. (3) IIMAS - Univ. Nacional Autónoma de México, México, DF, Mexico, GRETSI, Paris, 2003.

[BOU88]: P. BOUTHEMY, « An adaptative eigenshape model », British Machine Vision Conference BMVC, Birmingham, 1988.

[CAN98]: H. CANTALLOUBE et C. NAHUM, « La détection de cibles mobiles sur les images SAR », Office national d'études et de recherches aérospatiales, BP 72, 92322 Châtillon Cedex, France, 1998.

[CHE03]: S.C. CHEUNG and C. KAMATH, «Robust techniques for background subtraction in urban traffic video», IEEE International Workshop on Visual Surveillance and Performance Evaluation of Tracking and Surveillance, Nice, France, 2003.

[DEC97]: E. DECENCIERE FERRANDIERE, S. MARSHALL and J. SERRA, «Application of the morphological geodesic reconstruction to image sequence analysis», IEEE Proceedings: Vision, Image and Signal Processing, 1997.

[DER07]: L. DERAFA, « Détection de mouvement et poursuite vidéo », Ecole Militaire Polytechnique Bordj El Bahri, Algérie, 2007.

[GER91]: A. GERSHO and R.M. GRAY, « Vector Quantization and Signal Compression », Kluwer Academic Press Edition, 1991.

[GON77]: R.C. GONZALES and P.WINTZ, « Digital Image Processing », Addison Wesley Edition, 1977.

[HAC09] : M. HACINI, « Filtrage anisotropique et segmentation par Level Sets: Application aux images médicales », Mémoire de magistère, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Département d'Electronique, Université Mentouri-Constantine, Algérie, 2009.

[HAD05]: O. HADJ SAHRAOUI, « Principe du Radar à Synthèse d'Ouverture RSO et Simulation d'une chaîne d'acquisition d'image Radar », SETIT, Tunisie, 2005.

[HAD97]: M. HADALLAH, « Codage des images fixes par une méthode hybride basée sur la QV et les approximations fractales », PFE USTHB, Algérie, 1997.

[HIL89]: A. HILLINTON, « Le traitement des images de télédétection : aperçu et perspectives », Ecole nationale supérieur de télécommunication de Bretagne, France, 1989.

[HUR03] : T. HURTUT, « Segmentation automatique d'image pour le suivi des cicatrices suite à une chirurgie de la scoliose », Mémoire de Maitrise és sciences appliquées, École polytechnique de Montréal, France, 2003.

[JAI79]: R. JAIN and H.H. NAGEL, « On the analysis of accumulative difference pictures from image sequences of real world scenes », IEEE transactions on PAMI, 1979.

[JUL06]: M. JULIEN RICHEFEU, « Détection et analyse du mouvement sur système de vision à base de rétine numérique », Thèse de doctorat en informatique, Laboratoire d'Electronique et d'Informatique Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées, France, 2006.

[KAD02]: M. BENKADDOUR, « Intégration des données radar et optiques dans un processus classificatoire », Mémoire de magistère en techniques spatiales et applications, Centre national des technologies spatiales, Algérie, 2002.

[KAR90]: K.P. KARMANN and A. VON BRANDT, « Time-varying image processing and moving object recognition », Elsevier science publishers B.V, 1990.

[KES01]: L. KESSAL, N. BOUDOUANI et D. DEMIGNY, « Evaluation d'un algorithme de détection de mouvement par approche markovienne sur composants reconfigurables dynamiquement », ETIS UPRSEA CNRS 8051, Université de Cergy Pontoise ENSEA, 6 av. du Ponceau 95014 Cergy Pontoise Cedex, 2001.

[KOM07]: T. KOMBE (1), R.J. ASSAKO ASSAKO (2), « Morphologie mathématique appliquée aux images RSO pour la différentiation des tissus urbains : cas de la ville de Douala Cameroun », (1) IUT-Université de Douala, B.P. 8698. (2) (GREVA), Université de Yaoundé, B.P. 2986, Soa, Cameroun, 2007.

[KUN93]: M. KUNT, « Traitement numérique des images », Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Traitement de l'information Vol.2, 1993.

[LAC96]: L.J. LACOUME, « Imagerie radar de navires à la mer », Traitement du Signal - Volume 13 - n°5- Spécial, France, 1996.

[LAO09]: N. LAOUAR et M.S. LARABA, « Détection du mouvement dans une séquence vidéo par filtres morphologiques », Ecole national polytechniques, Algérie, 2009.

[LIN04]: D. LINGRAND, « Cours de traitement d'images », Projet RAINBOW, Rapport de recherche ISRN I3S\PR, France, 2004.

[MAH97]: N. MAHER, « Filtrage et analyse des images radar », Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'université Laval pour l'obtention du grade de Maître ès Sciences, France, 1997.

[MAR87]: A. MARION, « Introduction aux techniques de traitement d'images », Editions Eyrolles, 1987.

[MAU02] : F. MAUSSANG, « Classification de mines sous-marines par traitement d'images sonar multi-spectrales », Projet de fin d'étude, ENSIEG 3<sup>e</sup> année, INP Grenoble, France, 2002.

[MCH10]: A. MCHEIK, « Modélisation statistique du Speckle en OCT : application à la segmentation d'images de la peau », Thèse de doctorat en Image, Information et Hypermédia, INP Toulouse, France, 2010.

[MER04] : G. MERCIER, S. DERRODE, W. PIECZYNSK, « Segmentation Multiéchelle de Nappes d'Hydrocarbure », Traitement du Signal, Vol. 21(4), 2004.

[PIC04]: M. PICCARDI, « Background subtraction techniques: a review », Proc. IEEE Conference on Computer, 2004.

[RED07]: S. REDADAA, « Imagerie radar basse fréquence pour la focalisation d'objets enfouis dans des milieux dispersifs a pertes », Thèse de doctorat d'état en électronique option communication, Université Mentouri de Constantine, Algérie, 2007.

[RON07]: C. RONSE, « Documentation de Traitement d'Images », LSIIT UMR 7005 CNRS-ULP, Département d'informatique de l'ULP, Université de Strasbourg, France, 2007.

[ROT98]: N. ROTA, « Système adaptatif pour le traitement de séquences d'images pour le suivi de personnes », Mémoire DEA en informatique Option IA, Université Pierre et Marie Curie, France, 1998.

[SAI09]: M.N. SAIDI (1, 2), A. TOUMI (1), B. HOELTZENER (1), A. KHENCHAF (1) and D.ABOUTAJDINE (2), « Aircraft Target Recognition: A novel Approach for Features Extraction from ISAR images », (1): Laboratory E3I2-EA3876 ENSIETA Brest France, (2): GSCM-LRIT University Mohamed V-gdal, Faculty of the sciences Rabat Morocco, 2009.

[SAL02]: P. SALEMBIER, « On filters by reconstruction for size and motion simplification», Sixth International Symposium on Mathematical Morphology, Australia, 2002.

[SMA05]: Y. SMARA, « Réduction du speckle dans les images radar SAR : concepts et algorithms », SETIT, Tunisie, 2005.

[STA00]: C. STAUFFER and W.E.L. GRIMSON, « Learning patterns of activity using real time tracking », IEEE trans, on PAMI, 8(22) :747-757, 2000.

[TAB96]: K.TABARI et S.TAGMA, « Compression d'images animées à très faible débit par la géométrie des fractales », PFE USTHB, Algérie, 1996.

[TOY99]: K. TOYOMA, J. KRUMM, B. BRUMITT and B. MEYERS, « Wallflower: principles and practice of background maintenance», IEEE Conference on Computer, Kerkyra, Greece, 1999.

[WEN83]: O.S. WENSTOP, « Employing contextual information in computer vision », DARPA93, 1983.

[XAV07]: P. XAVIER, « Les filtres usuels en traitement d'images », 2007.

## **Webographie**

[Web01]: « [www.tsi.telecom-paristech.fr](http://www.tsi.telecom-paristech.fr) », Département Traitement du Signal et des Images, France, consulté le 09/2010.

[Web02]: « [www.eoedu.belspo.be](http://www.eoedu.belspo.be) », consulté le 10/2010.

[Web03]: « [www.spotimage.fr](http://www.spotimage.fr) », consulté le 10/2010.