

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 1



INSTITUT D'AERONAUTIQUE ET DES ETUDES SPATIALES

Département de Navigation Aérienne



**Projet de fin d'études**

Pour obtenir le diplôme de Master en Aéronautique

Spécialité : Navigation Aérienne

Option : CNS/ATM



Thème : *Etudes du détecteur KBS-CM-CFAR*

**Présenté par :**

- MERAH YUCEF
- DAHMANA AMIROUCHE

**Dirigé par :**

- Dr.Rahmouni

IAES

2021 – 2022

# *Dédicaces*

---

A l'homme le plus précieux dans ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, à toi mon père.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore.

A mes chers frères.

A mes meilleurs amis : Djabir Houda, Dellal Sadek, Reziki  
Islem...Khalil

A mon binôme Amirouche et toute la famille DAHMANA.

A mes collègues d'étude et à tous ce qui m'ont enseigné tous au long de ma vie scolaire.

**YOUCEF**

# *Dédicaces*

---

A mon très cher père pour qui j'adresse au ciel les vœux les plus ardents pour la conservation de sa santé et de sa vie.

A celle qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, à toi chère et douce maman toutes mes joies, mon amour et ma reconnaissance.

A tous mes amies

A mon binôme Youcef et à toute la famille MERAH.

A l'ensemble administratif qui était tout le long de mon parcours à mon service et au service de tous les étudiants.

A une personne que j'appelle trésor qui m'a soutenu presque tout au long de mon parcours universitaire.

A tous ceux qui m'ont aidé et soutenu.

Tout au long de ce travail.

**AMIROUCHE**

# ***Remerciements***

---

Nous remercions tout d'abord, Dieu tout puissant de nous avoir donné du courage, de la patience et surtout de la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à remercier notre promoteur monsieur Dr. RAHMOUNI, pour ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.

Nous remercions très sincèrement, les membres de jury d'avoir bien voulu accepter de faire partie de la commission d'examinations.

Nous tenons aussi à exprimer nos sincères remerciements à tous les enseignants qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

Nous n'oublions pas de remercier les responsables de l'institut d'aéronautique et des études spatiales de l'université SAAD-DAHLEB-BLIDA pour tous les efforts qu'ils ont fournis.

**Merci...**

**M-YOUCHEF & D-AMIROUCH**

## RÉSUMÉ

Dans les systèmes radar la détection du signal est une procédure nécessaire, pour cela, les détecteurs adaptatifs CFAR "Constant False Alarm Rate" sont devenus des composants standards dans la plupart des systèmes RADAR modernes. Le détecteur adaptatif CFAR sert à maintenir une probabilité de fausse alarme constante dans un fouillis homogène et en présence des cibles interférentes. Le but de ce travail est l'analyse des performances de détection RADAR pour des milieux homogènes et en présence des cibles interférentes. Dans ce contexte nous avons choisi d'analyser les quatre types de détecteurs le CA, GO, SO et OS-CFAR dans différentes situations, afin de proposer une nouvelle technique de détection adaptative basée sur la connaissance d'environnement pour améliorer la détection radar. Ce détecteur qui peut prendre plusieurs formes est qualifié de KBS-CM-CFAR.

## ABSTRACT

In the radar systems signal detection is a necessary procedure, for this, the CFAR adaptive detectors "Constant False Alarm Rate"; Became Standard components in most modern RADAR systems. The CFAR adaptive detector used to maintain a probability of false alarm rate in a homogeneous clutter and in the presence of interfering targets .The goal of this work is the analysis of RADAR detection performance for homogeneous environments and in the presence of interfering targets. In this context we have chosen to analyze the four types of detectors the CA, GO, SO and OS-CFAR in different situations, in order to propose a new adaptive detection technique based on environmental knowledge to improve radar detection. That detector can take several forms is qualified as KBS-CM-CFAR.

## ملخص

يعد اكتشاف الإشارة في أنظمة الرادار إجراءً ضروريًا، ولهذا أصبحت أجهزة الكشف عن «معدل الإنذار الكاذب الثابت» CFAR مكونات قياسية في معظم أنظمة الرادار الحديثة. يستخدم الكاشف التكيفي CFAR للحفاظ على احتمال إنذار كاذب ثابت في الفوضى المتجانسة وفي وجود أهداف متداخلة. الهدف من هذا العمل هو تحليل أداء كشف RADAR للوسائط المتجانسة وفي وجود أهداف متداخلة. في هذا السياق، اخترنا تحليل الأنواع الأربعة من أجهزة الكشف CA و GO و SO و OS-CFAR في مواقف مختلفة، من أجل اقتراح تقنية اكتشاف جديدة تعتمد على المعرفة بالبيئة لتحسين اكتشاف الرادار. يسمى هذا الكاشف ، الذي يمكن أن يتخذ عدة أشكال ، KBS-CM-CFAR.

# Sommaire

---

<b>Dédicace</b> .....	<b>I</b>
<b>Remerciements</b> .....	<b>II</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>III</b>
<b>Sommaire</b> .....	<b>IV</b>
<b>Liste des Figures</b> .....	<b>VIII</b>
<b>Liste des Tableaux</b> .....	<b>IX</b>
<b>Abréviations</b> .....	<b>XI</b>
<b>Introduction générale</b> .....	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Généralités sur les systèmes radar</b> .....	<b>3</b>
I.1 Introduction: .....	5
I.2 Principe du radar : .....	5
I.2.1 Principe : .....	5
I.2.2 Mesure de la distance : .....	6
I.2.3 Mesure de la direction : .....	7
I.3 Composants d'un système radar : .....	8
I.4 Classification des systèmes radars selon la technologie : .....	9
I.4.1 Radar primaire: .....	9
I.4.1.1 Radars à impulsions : .....	10
I.4.1.2 Radars à onde continue : .....	10
I.4.2 Radar secondaire : .....	10
I.4.3 Radar Doppler : .....	11
I.4.4 Radars bi-statiques : .....	11
I.4.5 Radar multistatique : .....	11
I.4.6 Radar imageur et non imageur : .....	12
I.5 EQUATION DU RADAR : .....	12
I.6 Applications radar : .....	14
I.6.1 Applications : .....	14
I.6.2 Applications militaires : .....	15
I.6.3 Applications civiles : .....	17
<b>Chapitre II : Détection adaptative CFAR</b> .....	<b>22</b>
II.1 Introduction : .....	22

II.2 Détection à seuil fixe :	22
II.3 Détection à seuil adaptatif :	25
II.3.1 Détection CFAR :	25
II.3.2 Détecteur CA-CFAR :	26
II.3.3 Détecteur GO (Greatest-Of) – CFAR :	28
II.3.4 Détecteur SO (Smallest -Of) – CFAR :	30
II.3.5 Comparaison des détecteurs CA, GO et SO-CFAR :	31
II.3.6 Détecteur OS (Ordred-Statistic)-CFAR :	34
II.4 Conclusion :	37
<b>Chapitre III : Etude des performances du détecteur KBS-CM-CFAR</b>	<b>38</b>
III.1 Introduction :	38
III.2 Le détecteur CMAP-CFAR :	38
III.2.1 Principe :	38
III.2.2 Formulation mathématique de détecteur CMAP-CFAR :	40
III.2.3 Evaluation des probabilités liées au CMAP-CFAR :	41
III.2.4 Résultats et discussions :	42
III.3 Sources de connaissances KBS :	45
III.3.1 Importance des sources KBS dans la détection radar :	45
III.3.2 Système d'Information Géographique (SIG) :	45
III.3.3 Modélisation des données géographiques :	45
III.3.4 Utilisation des données géographiques dans la détection CFAR :	47
III.3.5 Base de connaissance d'environnement dynamique DEKB :	48
III.4 Détection basée sur les KBS :	51
III.4.1 Indicateur d'homogénéité :	51
III.4.2 Description du détecteur KBS-CM-CFAR :	52
III.4.3 Etude des performances du détecteur KBS-CM-CFAR :	53
III.5 Conclusion :	55
<b>Conclusion générale</b>	<b>56</b>
<b>Références</b>	<b>58</b>

# Figures

---

<b>Figure I.1</b> : Principe de la détection radar.....	05
<b>Figure I.2</b> : Mesure de la distance.....	07
<b>Figure I.3</b> : Mesure des angles.....	08
<b>Figure I.4</b> : Classification des systèmes radar.....	09
<b>Figure I.5</b> : Radars multistatistiques.....	12
<b>Figure I.6</b> : COBRA [4].....	16
<b>Figure I.7</b> : Rapier [4].....	17
<b>Figure I.8</b> : Radar multifonction « Variant » de la Marine [4].....	17
<b>Figure I.9</b> : Un radar météo [5].....	18
<b>Figure I.10</b> : Un radar de navigation [5].....	18
<b>Figure I.11</b> : Radar en route [5].....	19
<b>Figure I.12</b> : Radar d'approche de précision [5].....	19
<b>Figure I.13</b> : Radar de contrôle routier « Traffipax Speedophot » [5].....	20
<b>Figure I.14</b> : Capteur radar Distronic [5].....	21
<b>Figure I.15</b> : Un radar à pénétration de sol [5].....	21
<b>Figure II.1</b> : Détection à seuil fixe.....	24
<b>Figure II.2</b> : Schéma fonctionnel du détecteur CA-CFAR.....	26
<b>Figure II.3</b> : Schéma fonctionnel du détecteur GO-CFAR.....	29
<b>Figure II.4</b> : Schéma fonctionnel du détecteur SO-CFAR.....	30
<b>Figure II.5</b> : CA, GO et SO-CFAR dans un milieu homogène.....	32
<b>Figure II.6</b> : $P_d$ en fonction du SNR pour CA, SO et GO-CFA.....	32
<b>Figure II.7</b> : Seuils CA, GO et SO-CFAR en présence d'un bord de clutter.....	33
<b>Figure II.8</b> : Seuils CA, GO et SO-CFAR en présence de cibles interférentes..	34
<b>Figure II.9</b> : Le détecteur OS-CFAR.....	35
<b>Figure II.10</b> : CA et OS-CFAR en présence de cibles interférentes.....	36
<b>Figure III.1</b> : Espace radar divisé en cellules (Cell-Map) [12].....	39
<b>Figure III.2</b> : Schéma synoptique du détecteur CMAP-CFAR [12].....	40

<b>Figure III.3</b> : Probabilité de détection en fonction de SNR pour $Pfa= 10^{-2}$ .....	43
<b>Figure III.4</b> : Probabilité de détection en fonction de SNR pour $Pfa=10^{-4}$ .....	43
<b>Figure III.5</b> : Probabilité de détection en fonction de SNR pour $Pfa=10^{-6}$ .....	44
<b>Figure III.6</b> : Modélisation des données géographiques Raster et Vecteur.....	46
<b>Figure III.7</b> : Détecteur CFAR utilisant le SIG.....	48
<b>Figure III.8</b> : Algorithme de mise à jour des attributs [18].....	51
<b>Figure III.9</b> : La structure de KBS-CM-CFAR.....	52
<b>Figure III.10</b> : Pd Vs SCR de CA-CM-CFAR, OS-CM-CFAR et KBS-CM-CFAR dans un environnement homogène.....	54
<b>Figure III.11</b> : Pd Vs SCR de CA-CM-CFAR, OS-CM-CFAR et KBS-CM-CFAR dans un environnement non homogène.....	54

# ***Tableaux***

---

<b>TABLEAU I.1</b> : Comparaison entre radar primaire à impulsion et à onde continue.....	10
<b>Tableau II.1</b> : Les quatre situations possibles.....	23
<b>Tableau III.1</b> : Valeurs de seuil $Th$ .....	42

# ***Symboles***

---

**ADT** : Average Detection Treshold

**CA-CFAR** : Cell Averaging -CFAR.

**CA-CM-CFAR** : Cell Averaging -Clutter Map-CFAR.

**CFAR** : Constant False Alarm Rate.

**CM-CFAR** : Clutter Map CFAR.

**CM/ODV** : Clutter Map/ Ordered Data Variability.

**CST** : Cellule Sous Test.

**DEKB** : Dynamic Enviromental Knowledge Based.

**FPGA** : Field Programmable Gate Array.

**GO-CFAR** : Greatest Of -CFAR.

**IID** : Independ and Identically Distributed.

**ISE** : Integrated Software Environment.

**KBS** : Knowledge Based Systems.

**KBS-CM-CFAR** : Knowledge Based Systems Clutter Map CFAR.

**OS-CFAR** : Ordered Statistics -CFAR.

**OS-CM-CFAR** : Ordered Statistics -Clutter-Map-CFAR.

**Pd** : Probabilité de détection.

**PDF** : Probabilité Density Function.

**$P_{fa}$**  : Probabilité de Fausse Alarme.

**SCR** : Signal to Clutter Ratio.

**SNR** : Signal to Noise Ratio.

**SO-CFAR** : Smallest Of-CFAR.

**SIG** : Système d'Information Géographique.

**T** : Facteur d'Echelle.

## Introduction générale

Le radar est un système électromagnétique pour la détection et la localisation d'objets (Radio Detection and Ranging). Le radar fonctionne en transmettant un type particulier de forme d'onde et en détectant la nature des signaux réfléchis par les objets et peuvent également mesurer les distances aux objets.

Le premier radar a été breveté il y a 110 ans. Entre-temps, les applications sont devenues nombreuses et les concepts de système ont été adoptés pour les technologies disponibles. Les applications typiques sont le contrôle de la vitesse, le contrôle de la circulation aérienne, le radar à synthèse d'ouverture, les missions aéroportées et spatiales, les applications militaires et la télédétection. La recherche pour les applications radar médicales progresse bien pour la détection du cancer et la localisation des tumeurs. Les radars automobiles pour la sauvegarde et la conduite autonome sont quant à eux produits en millions par an. Au cours des prochaines années, les concepts de systèmes radar de pointe connaîtront presque une révolution. Malgré les progrès significatifs, la technologie du système radar ne s'est pas développée comme les communications ou d'autres technologies. Certaines de ces nouvelles technologies pénétreront d'ici quelques années dans les radars et révolutionneront les concepts de systèmes radar. Cela permettra ensuite de nouvelles caractéristiques radar et des approches de traitement du signal radar.

La détection des objets volants par les systèmes radars dépend essentiellement de la nature d'environnement situé autour de cet objet : c'est le cas des radars de surveillance. Ils sont alors perturbés par les échos indésirables qui forment le fouillis ou le clutter. Le taux de fausse alarme constant (CFAR) est un algorithme de traitement numérique du signal qui conduit au calcul des seuils adaptatifs pour

la détection automatique des cibles. L'objectif du concept CFAR est de faire en sorte que ces seuils soient immunisés contre toutes variations du bruit.

L'objectif de ce mémoire est l'exploitation des sources de connaissance KBS tel que : le SIG (Système d'Information Géographique) sur le détecteur CM-CFAR.

Le premier chapitre donne une introduction générale sur les systèmes Radar, et les différents types des radar, leur principe de fonctionnement, les équations radar et les différents domaines d'applications radar.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude et l'analyse des performances des détecteurs classiques en présence des clutters homogènes et hétérogènes. Nous avons commencé par l'étude et la simulation du détecteur CA-CFAR et ses dérivés SO-CFAR, GO-CFAR, ensuite le détecteur OS-CFAR afin de montrer les performances et les limites de chaque détecteur dans des différentes situations d'environnement. Nous avons constaté que le détecteur CA-CFAR est performant dans le cas homogène, le GO-CFAR prouve ses performance dans le cas d'un bord de clutter et le SO-CFAR est efficace dans le cas des cibles multiples situées dans une seule demi-fenêtre de référence. Tandis que les détecteurs d'ordre statistique OS-CFAR sont utilisés dans le cas des cibles interférentes.

Dans le troisième chapitre nous avons donné une nouvelle technique de détection adaptative basée sur la source de connaissance KBS à savoir le Système d'Information Géographique "SIG", Ce détecteur qui peut prendre plusieurs formes est qualifié de KBS-CM-CFAR. Il est comparé avec des détecteurs CA-CM-CFAR et OS-CM-CFAR, où il a montré ses meilleures performances.

## Chapitre I : Généralités sur les systèmes radar

### I.1 Introduction :

Les premières applications de la radioélectricité furent les télécommunications, puis la radionavigation. Le développement des moyens de transports, tant par mer que par air a fait rapidement apparaître le besoin de détecter simultanément la direction et la distance d'un objet non coopératif.

Le radar a été développé pour « détecter » la présence d'un objet sans la participation de l'objet lui même. Le mot RADAR qui est universellement adopté pour désigner un matériel répondant à cette exigence est une abréviation de l'expression anglo-saxonne :

### ***RADIO DETECTION AND RANGING***

Les radars émettent des ondes radioélectriques, dont la longueur d'onde varie de quelques centimètres à environ 1m. Les objets passant par le faisceau électromagnétique de l'antenne réfléchissent ces ondes et les renvoient à l'émetteur.

Les concepts de base du radar sont fondés sur les équations régissant les ondes électromagnétiques, formulées par le physicien britannique *James Clerk Maxwell* en 1864. Ces principes furent vérifiés en 1886 par les expériences du physicien allemand *Heinrich Hertz*. En 1904 l'ingénieur allemand *Christian Hülsmeier* fut le premier, à suggérer l'utilisation d'écho radio dans un appareil de détection afin d'éviter les collisions en navigation. Un dispositif similaire fut proposé en 1922 par l'inventeur italien *Guglielmo Marconi*. Par la suite, le radar fut développé progressivement, grâce à l'action de nombreux savants, ingénieurs et techniciens.

Le radar est né simultanément entre 1930 et 1935 aux Etats-Unis, en Grande-Bretagne, en Allemagne et en France.

En 1940, la Grande-Bretagne, et aussi l'Allemagne avaient suffisamment développé la technique des impulsions pour mettre au point des systèmes opérationnels. La Grande Bretagne par exemple, possédait déjà en 1939 un réseau de déclenchement d'alerte presque continu, qui lui permettait de déceler la présence d'avions à 100km de sa cote Est et Sud. Ces systèmes fonctionnaient sur une longueur d'onde d'une dizaine de mètres. A cause de la longueur d'onde utilisée, la directivité de ces antennes était très faible. Pour cette raison, la longueur d'onde fut ensuite ramenée aux environs de 1,5 mètre.

De leur côté, les USA avaient travaillé cette technique ; leurs recherches semblaient alors s'orienter plus particulièrement vers les problèmes intéressant la marine.

En 1940, les Allemands étaient parvenus à peu près au même point que les alliés. Par contre, ils n'arrivaient pratiquement pas à maîtriser des longueurs d'ondes inférieures à 0,5mètre; aussi furent-ils surclassés en 1945 par les dispositifs développés par les alliés et qui, grâce aux applications du magnétron, fonctionnaient sur des longueurs d'ondes de 10cm, ce qui leur permettait l'utilisation de dispositifs plus précis, car plus directifs.

Signalons en outre, le développement des radars de bord dont l'apparition a commencé dès la bataille d'Angleterre; ils fonctionnaient alors sur des longueurs d'ondes de 30cm à 1m. L'abaissement de cette longueur d'onde jusqu'à 1cm environ en fait un instrument très précis.

La France pour sa part avait à partir de 1935 effectué des essais fructueux de barrières radioélectriques bi-statiques en ondes métriques. Ces matériels furent développés et employés pour réaliser des barrages électromagnétiques opérationnels, en 1939. Par ailleurs des prototypes de radars à impulsions fonctionnant en ondes métriques ont permis d'obtenir dès 1939 des portées supérieures à 100Km sur aéronef. Le technique radar évolua de manière très profonde entre 1940 et 1945, au point qu'une série de volumes édités par MIT (Massachusetts Institute of Technology) a pendant longtemps servi de document de base de la matière.

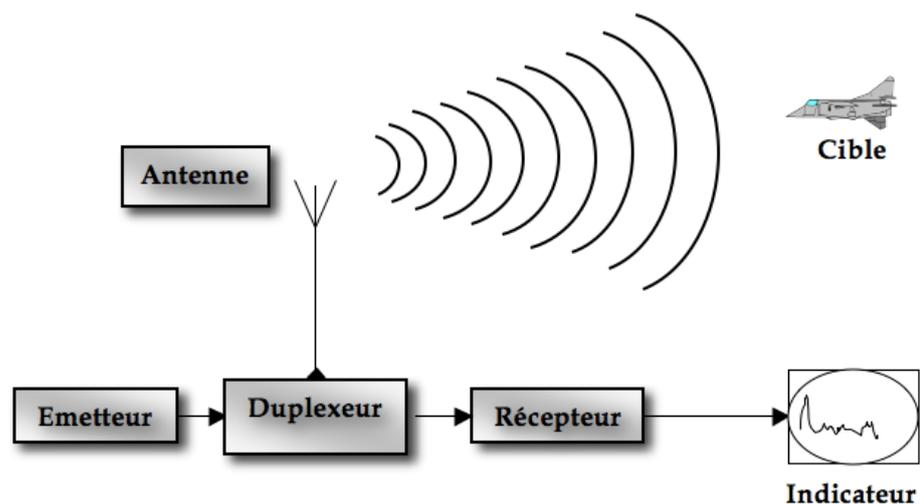
Les domaines d'application du radar sont très variés, citons :

- Les radars de contrôle aérien ;
- Les radars météorologiques ;
- Les radars de navigation ;
- Les radars de poursuite et de trajectographie ;
- Les radars d'interception ;
- Les radars Doppler.

## I.2 Principe du radar :

### I.2.1 Principe :

Le radar a pour rôle de détecter, localiser les cibles et d'apporter des informations les concernant. Ceci est fait en illuminant un volume de l'espace avec des ondes électromagnétiques et en recevant l'énergie réfléchi par les objets présents dans ce volume de l'espace. La figure I.1 présente le principe du radar.



**Figure I.1** : Principe de la détection radar

Le radar fait usage de l'écho produit par un obstacle situé sur la trajectoire d'une onde électromagnétique. Dans la majorité des cas, l'émetteur et le récepteur sont connectés à une antenne commune. Le temps qu'il faut à une onde

électromagnétique pour aller de l'émetteur à la cible, puis de la cible vers le récepteur est mesuré et permet de calculer la distance  $R$ . La variation de fréquence du signal sert à déterminer la vitesse relative de l'obstacle par rapport à la source (effet Doppler). La direction dans laquelle se trouve la cible est obtenue en pointant une antenne à faisceau étroit dans la direction donnant le plus grand signal réfléchi.

Toutefois, on note que la réflexion se fait dans plusieurs directions selon la nature de la cible et aussi selon son orientation. De plus le radar peut recevoir une partie de l'énergie réfléchie par le sol, la mer ou les nuages.

A la réception, l'énergie reçue des différents échos est amplifiée et filtrées. Malheureusement, le récepteur rajoute du bruit principalement thermique à ces signaux reçus. Pour extraire le signal utile du bruit et des interférences, des traitements spécifiques sont nécessaires en particulier au niveau de l'étape de détection où le signal résultant sera comparé avec un seuil fixe préétabli ou adaptatif réalisé par des procédés CFAR (Constant False Alarm Rate). Ce seuil doit être soigneusement choisi de manière à avoir un minimum de probabilité de fausse alarme tout en maximisant la probabilité de détection.

### **1.2.2 Mesure de la distance :**

La distance est calculée à partir du temps de transit (aller et retour) d'une brève impulsion radio électrique émise animée d'une vitesse de propagation ' $c$ ' telle qu'illustrée par la Figure (1-2). La distance de l'écho est la distance en ligne droite entre l'antenne du radar et la cible.

Le temps  $\Delta t$  mesuré par le radar est le temps nécessaire à l'impulsion pour aller de l'antenne à la cible, puis de la cible vers l'antenne après réflexion. Chaque impulsion revenant au radar a parcouru deux fois la distance radar-cible. La formule permettant de calculer cette distance est donc la suivante :

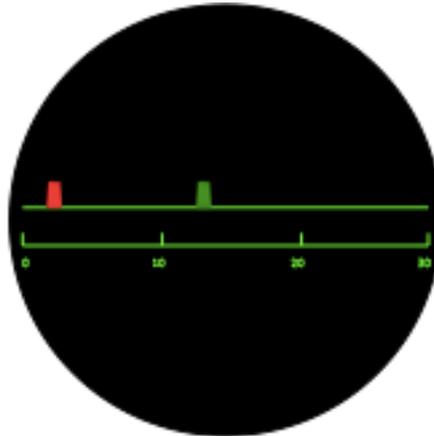
$$D = c \cdot \Delta t / 2$$

$D$ : La distance antenne- cible.

$c$ : La vitesse de lumière ( $3 \cdot 10^8$ m/s).

Le signal reçu aura la même forme que le signal émis mais il sera très faible et toujours accompagné d'un bruit de fond provenant [1] :

- Soit du bruit atmosphérique, qu'on ne peut réduire à zéro.
- Soit du bruit propre du récepteur, qu'on ne peut réduire à zéro.
- Soit même d'un brouillage du par exemple a un ennemi non coopérant.



**Figure I.2:** Mesure de la distance

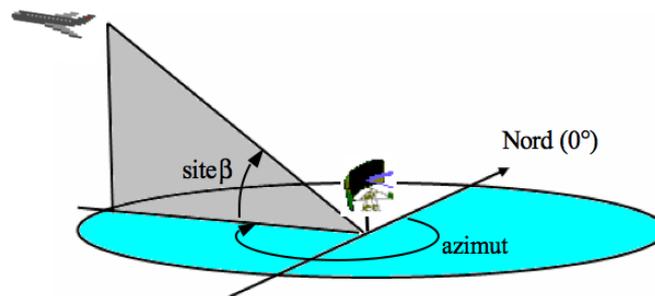
### **I.2.3 Mesure de la direction :**

L'angle, entre la direction du nord et celle de la cible (azimut), est déterminé grâce à la directivité de l'antenne. La directivité est la capacité de l'antenne à concentrer l'énergie rayonnée dans une direction particulière. En mesurant la direction dans laquelle est pointée l'antenne à l'instant où elle reçoit un écho, on peut déterminer non seulement l'azimut mais aussi le site de la cible tel qu'illustré par la Figure (I-3). La précision de la mesure de ces angles dépend de la directivité de l'antenne. Pour une fréquence émise donnée (ou une longueur d'onde définie),

La directivité d'une antenne est fonction de ses dimensions propres.

Les radars émettent normalement de très hautes fréquences pour les raisons suivantes [1]:

- Propagation quasi rectiligne de ces ondes.
- Haute résolution (plus la longueur d'onde est courte, plus le radar est capable de détecter un petit objet).
- Encombrement réduit de l'antenne (plus on augmente la fréquence du signal rayonné, plus la directivité est grande pour une antenne de taille donnée).



**Figure I.3:** Mesure des angles

### I.3 Composants d'un système radar :

Un radar est composé des éléments suivants [2] :

**a- Émetteur** : L'émetteur, est un circuit oscillateur qui produit des pulsations électromagnétiques à très hautes fréquences. Il comprend un oscillateur permanent, un amplificateur et un modulateur. Le modulateur (générateur d'impulsions) constitue la partie active de l'émetteur. C'est un circuit électronique qui permet de fractionner l'onde continue produite par l'oscillateur en impulsions ;

**b- Duplexeur** : C'est un commutateur électronique qui dirige l'onde vers l'antenne lors de l'émission ou le signal échoïque depuis l'antenne vers le récepteur ;

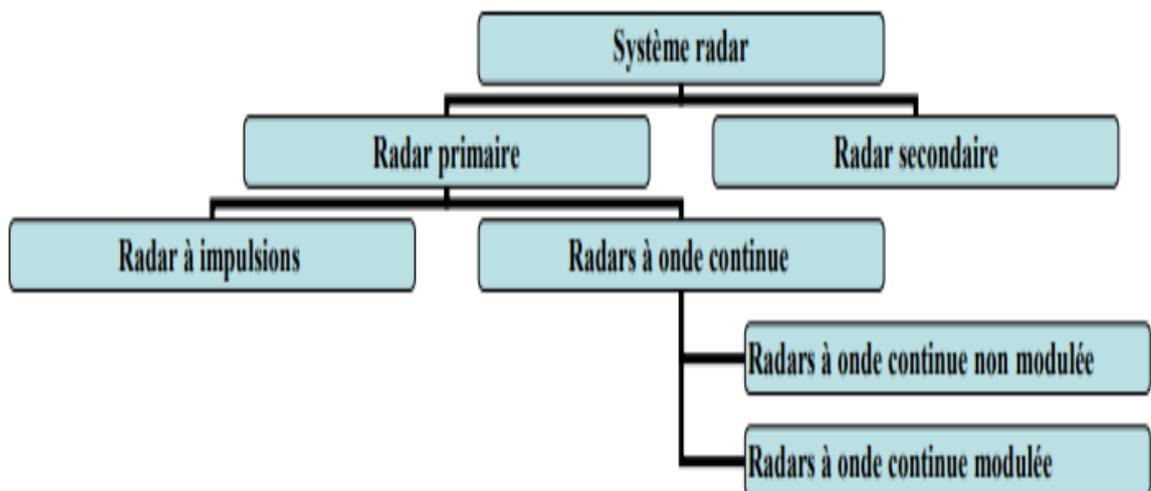
**c- Antenne** : C'est l'élément le plus visible du radar et également le plus connu. Son rôle est de concentrer l'énergie émise par le radar dans un angle solide déterminé.

**d- Récepteur** : Le récepteur est l'élément le plus délicat et souvent le plus complexe du radar. Il doit amplifier et mesurer un signal extrêmement faible à une fréquence extrêmement haute.

**e- Écran** : L'écran est la partie sur laquelle se fait la présentation des cibles détectées. La représentation d'un objet sur l'écran s'appelle un spot.

#### I.4 Classification des systèmes radars selon la technologie :

Les équipements radars utilisent des qualités et des technologies différentes. La classification selon la technologie en fonction des informations fournies est donnée par la Figure (I-4) [3]:



**Figure I.4** : Classification des systèmes radar

##### I.4.1 Radar primaire:

Il émet des signaux hyperfréquences qui sont réfléchis par les cibles. Un radar primaire reçoit la partie réfléchi de son propre signal. Les radars primaires peuvent être de type deux dimensions (2D) donnant des mesures de distance et d'azimut ou trois dimensions (3D), une mesure complémentaire en angle de site

(angle d'élevation dans le plan vertical) est alors disponible. On distingue deux types du radar primaire :

#### **I.4.1.1 Radars à impulsions :**

Les radars à impulsions émettent des impulsions de signal hyperfréquence à forte puissance, chaque impulsion est suivie d'un temps de silence plus long que l'impulsion elle-même, temps durant lequel les échos de cette impulsion peuvent être reçus avant qu'une nouvelle impulsion ne soit émise.

#### **I.4.1.2 Radars à onde continue :**

Les radars à onde continue génèrent un signal hyperfréquence continu. Le signal réfléchi est reçu et traité, mais le récepteur n'est pas tenu d'être au même emplacement que l'émetteur.

Le Tableau (I-1) présente une comparaison entre le radar primaire à impulsions et celui à onde continue.

Paramètre	Radar à impulsion	Radar à onde continue
Type de signal	Modulée	modulée et non modulée
Antenne	Duplexeur	Antennes séparées
Puissance à réception	Élevée	Faible
Domaine d'application	Plusieurs	Moins

**TABLEAU I.1 :** Comparaison entre radar primaire à impulsion et à onde continue

#### **I.4.2 Radar secondaire :**

Avec ces radars, l'avion doit être équipé d'un transpondeur (transmetteur répondeur) qui répond à l'interrogation du radar en générant un signal codé. Cette réponse peut contenir beaucoup plus d'informations que celles qu'un radar

primaire peut collecter (par exemple l'altitude, un code d'identification, ou encore un rapport de problème à bord comme une panne totale des radiocommunications).

#### **I.4.3 Radar Doppler :**

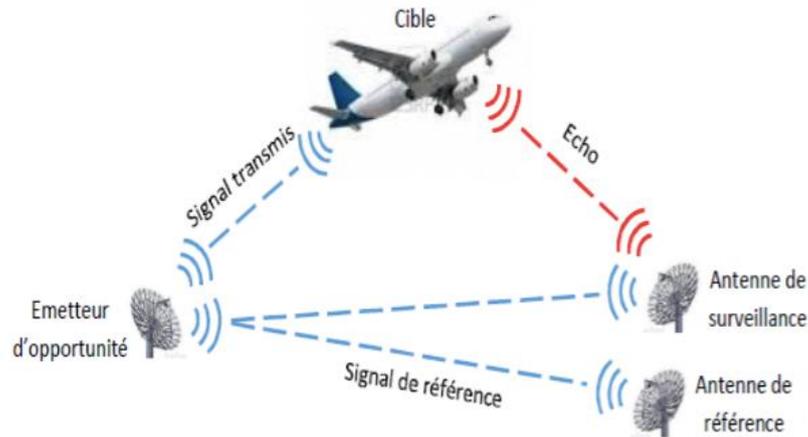
Un radar Doppler est un radar qui utilise l'effet Doppler-Fizeau de l'écho réfléchi par une cible pour mesurer sa vitesse radiale. Le signal micro-onde émis par l'antenne directionnelle du radar est réfléchi par la cible et comparé en fréquence avec le signal original aller et retour. Il permet ainsi une mesure directe et extrêmement précise de la composante vitesse de la cible dans l'axe du faisceau.

#### **I.4.4 Radars bi-statiques :**

Un radar bi-statique se compose de deux, installations considérablement éloignée l'une de l'autre. L'un des sites abrite les équipements consacrés à l'émission, l'autre est consacré à la réception, ceci est illustré par la Figure (I-5).

#### **I.4.5 Radar multistatique :**

Un système radar multistatique comporte au moins trois composants par exemple, un récepteur et deux émetteurs, ou deux récepteurs et un émetteur, ou encore plusieurs émetteurs et plusieurs récepteurs. C'est, en fait, une généralisation du radar bi-statique avec un ou plusieurs récepteurs traitant les informations de un ou plusieurs émetteurs situés sur des positions différentes.



**Figure I.5:** Radars multistatiques.

#### I.4.6 Radar imageur et non imageur :

Un radar imageur permet de présenter une image de l'objet (ou de la zone) observé. Les radars imageurs sont utilisés pour cartographier la terre, les autres planètes, les astéroïdes et les autres objets célestes. Ce type de radar est également appelé diffusomètre puisqu'il mesure les propriétés de réflexion de la région ou de l'objet observé. Les applications des radars non imageurs sont par exemple les dispositifs d'immobilisation antivols installés sur certains véhicules privés récents.

#### I.5 EQUATION DU RADAR :

Considérons un radar équipé d'un émetteur développant une puissance crête  $P_c$ . Soit un objet  $M$  situé à une distance  $R$  de la station radar. Si l'antenne du radar est omnidirectionnelle, elle rayonne la même quantité d'énergie dans toutes les directions. A une distance  $R$  de la source, la puissance totale  $P$  se trouve répartie sur une surface sphérique de valeur  $4\pi R^2$ . La densité de puissance en ce point  $M$ , est donc :

$$P_M = \frac{P_c}{4\pi R^2} \left( \frac{\text{watt}}{\text{m}^2} \right) \quad (1.1)$$

En fait, l'antenne est directive. Si le point M est situé dans la direction du gain maximum ( $G$ ), la densité surfacique de puissance au point M devient :

$$P_M = \frac{P_c}{4\pi R^2} \cdot G (\text{watt/m}^2) \quad (1.2)$$

Si au point M, se trouve un obstacle isotrope parfaitement réfléchissant, de surface équivalente  $\sigma$ , la puissance reçue par la cible  $p_{recib}$ , s'écrit :

$$p_{recib} = \frac{P_c}{4\pi R^2} \cdot G \cdot \sigma (\text{watt}) \quad (1.3)$$

A ce stade, l'obstacle joue le rôle d'émetteur et la station radar celui d'un récepteur. A une distance  $R$  de la cible, la puissance totale diffusée par celle-ci est répartie sur une surface sphérique. Le processus précédent recommence en sens inverse :

Au niveau de l'antenne de réception. La densité de puissance qui revient vers l'antenne par unité de surface est donc :

$$P_{reçu-antenne} = \frac{P_c}{4\pi R^2} \cdot G \cdot \sigma \cdot \frac{1}{4\pi R^2} (\text{watt/m}^2) \quad (1.4)$$

Et la puissance globale  $p_g$ , reçu par l'antenne de surface apparente  $A$  est :

$$P_g = \frac{P_c \cdot G \cdot \sigma}{4\pi R^2} \frac{A}{4\pi R^2} (\text{watt}) \quad (1.5)$$

Soit :

$$P_g = \frac{P_c \cdot G \cdot \sigma \cdot A}{(4\pi)^2 R^4} (\text{watt}) \quad (1.6)$$

Si cette puissance  $p_g$  correspond au signal minimum détectable par le récepteur du radar, alors, la quantité  $R$  représente la portée maximale du radar.

D'autre part, le gain de l'antenne est lié à sa surface apparente par l'expression :

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2} \quad (1.7)$$

Et donc :

$$A = \frac{G \cdot \lambda^2}{4\pi} \quad (1.8)$$

Il vient alors :

$$P_g = \frac{P_c \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{(4\pi)^3 \cdot R^4} \text{ (watt)} \quad (1.9)$$

Et :

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_c \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{(4\pi)^3 \cdot P_g}} \text{ (m)} \quad (1.10)$$

## **I.6 Applications radar :**

### **I.6.1 Applications :**

En dehors de la navigation en mer et dans les airs, le radar a trouvé un usage quasi universel en météorologie, non seulement pour la prévision et la localisation de perturbations, telles que les ouragans et les tornades, mais également pour connaître les conditions météorologiques locales. Les radars fournissent aussi des informations sur les précipitations, permettant de signaler à l'avance les crues subites. D'autres équipements radar sont utilisés par la police pour surveiller la vitesse des véhicules.

L'une des principales utilisations du radar reste le contrôle du trafic aérien : guidage des avions vers les pistes d'atterrissage et suivi des avions en vol.

Les progrès récents, notamment les techniques rendant plus net le contraste entre les signaux radar utiles et le bruit radio aléatoire, ont encore contribué à élargir le domaine d'utilisation du radar. Son application s'est étendue

à l'exploration de l'espace, à l'observation des missiles et des satellites artificiels à très haute altitude.

Le radar est un élément essentiel des systèmes de défense, pour la détection des engins balistiques intercontinentaux. Cependant, avec les récentes générations de radars, apparaissent de nouvelles parades, en particulier grâce au développement de systèmes favorisant la « furtivité » des avions de combat et des missiles.

Le développement rapide du radar qualitativement et quantitativement démontre le grand intérêt donné à ce système. Parmi ses autres applications on peut citer [4] :

- Le contrôle du trafic aérien ;
- La navigation aérienne ;
- La navigation maritime ;
- Les systèmes d'alerte de défense ;
- Les mesures de portée et de vitesse pour les besoins de contrôle de vitesse par la police ;
- L'assistance pour atterrissage des véhicules sur la lune ;
- Surveillance des frontières.

### **I.6.2 Applications militaires :**

L'armée utilise encore beaucoup le radar pour détecter les avions, les missiles, les obus, les navires et les satellites. De plus, le radar sert à guider les armes modernes (smart weapons) et à distinguer les cibles.

#### **a. Radar de défense aérienne :**

Les radars de défense aérienne détectent et suivent les aéronefs ou missiles représentant un danger militaire. Leur portée peut dépasser 300 milles (500 km) sur 360 degrés autour du radar.

**b. Radar de contre-batterie :**

Un radar de contre-batterie sert à déterminer le point de départ d'un tir d'artillerie adverse (canons, mortiers ou même lance-roquettes) par calcul de la trajectoire des projectiles afin d'y riposter le plus vite possible. La position supposée de l'artillerie ennemie est alors affichée sur un écran de situation tactique, en temps réel, dans le poste de commandement qui peut ainsi ajuster le tir de contre batterie.



**Figure I.6:** COBRA [4]

**c. Radar de guidage :**

Est généralement intégré dans les systèmes de téléguidage des missiles. Ces derniers utilisent les informations pour: Les missiles peuvent être guidé par un faisceau radar ami jusqu'à la cible; Les missiles autoguidés vont détecter et suivre leur cible grâce à l'énergie radioélectrique qu'elle réfléchit. Cela peut être fait grâce à un système radar complet à bord du missile ou par un récepteur radar dans le missile qui capte l'illumination produite par un radar ami sur la cible; Les missiles à détection passive se dirigent grâce à l'énergie émise par la cible (ex. un radar ennemi).



**Figure I.7:** Rapier [4]

**d. Radar de champ de bataille:**

L'équipement radar de l'armée a généralement une portée plus courte et est hautement spécialisé. Sur les navires de la marine, le nombre d'antennes radar spécialisées sont de plus en plus remplacé par un radar multifonctions.

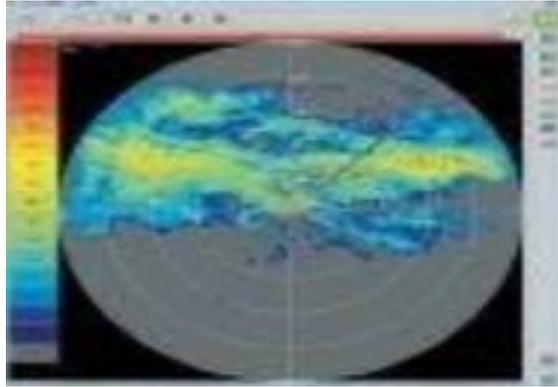


**Figure I.8:** Radar multifonction « Variant » de la Marine [4]

**I.6.3 Applications civiles :**

**e. Radar météorologique:**

Le radar atmosphérique est utilisé principalement dans deux champs d'application en météorologie : La mesure dans l'atmosphère de diverses quantités physiques utiles pour alimenter les modèles de prévision météorologique (vitesse de l'air, indice de réfraction). La prévision détaillée à court terme de phénomènes météorologiques locaux (visibilité, vent, pluie, grêle, tornade, foudre, etc.) et leur évolution sur une dizaine de minutes ou sur quelques heures.



**Figure I.9:** Un radar météo [5]

**f. Navigation :**

Un radar à bord d'un avion est utile pour connaître son altitude, sa vitesse et sa position par rapport au sol. Il peut également détecter les zones climatiques dangereuses. Sur un bateau, le radar contribue à éviter les collisions avec d'autres navires dans des conditions de visibilité réduite.



**Figure I.10:** Un radar de navigation [5]

**g. Contrôle aérien :**

Tout aéroport (aéroport civil et militaire) possède un réseau radar à proximité afin d'aider au contrôle du trafic aérien. Ce réseau peut être utilisé pour détecter les avions autour de l'aéroport ou pour connaître les variations climatiques influençant le vol. Les radars « en route » opèrent

en général sur la bande L. Ils montrent au contrôleur aérien la position des avions dans une région allant jusqu'à 450 km des radars avions.



**Figure I.11:** Radar en route [5]

**h. Radar d'approche de précision :**

Radar primaire utilisé pour déterminer les écarts latéraux et verticaux de la position d'un aéronef au cours de l'approche finale par rapport à la trajectoire d'approche nominale, ainsi que la distance de cet aéronef au point d'atterrissage. Ils permettent au pilote d'atterrir même avec une visibilité nulle. Les échanges de données entre le radar et l'avion se font de manière verbale avec le pilote ou par signal pulsé pour un pilote automatique.



**Figure I.12:** Radar d'approche de précision [5]

**i. Radar de contrôle routier :**

Les radars de contrôle routier sont une application spécialisée des radars à onde continue. La variation de la fréquence entre le signal émis et celui retourné (effet Doppler-Fizeau) permet de calculer la vitesse des véhicules sur la route. Ils opèrent en général dans la bande K.



**Figure I.13:** Radar de contrôle routier « Traffipax Speedophot » [5]

**j. Radar de régulation de distance :**

L'image montre le capteur radar Distronic placé sur la calandre d'une Mercedes-Benz SL-Class roadster. Il fait parti d'un système radar qui sonde à l'avant de l'automobile, jusqu'à 150 mètres, pour détecter les obstacles. Le système de régulation de vitesse avertira le conducteur s'il s'approche d'un véhicule plus lent et pourra même appliquer les freins en dernier ressort.



**Figure I.14:** Capteur radar DISTRONIC [5]

**k. Radar à pénétration de sol :**

Un radar à pénétration de sol est un appareil géophysique pour étudier la composition et la structure des sols. En général, on utilise la bande des micro-ondes et des ondes radio (VHF/UHF). On peut sonder ainsi une variété de terrains, incluant les calottes glaciaires et les étendues d'eau



**Figure I.15:** Un radar à pénétration de sol [5]

## Chapitre II : Détection adaptative CFAR

### II.1 Introduction :

Les radars peuvent être utilisés pour la détection des conditions météorologiques, le contrôle du trafic aérien et la surveillance du trafic routier. Le but du système de détection d'un signal radar est de détecter automatiquement les cibles d'intérêt noyées dans un bruit thermique et du fouillis. Le fouillis est l'ensemble des signaux indésirables provenant d'obstacle autre que la cible considérée tels que les signaux réfléchis par les gouttes de pluie, les oiseaux, les montagnes ou d'autres objets qui tentent d'obstruer la détection de l'objet d'intérêt. Par conséquent, le signal utile reçu est de nature aléatoire est de puissance variable et décerner sa présence nécessite plusieurs traitements dont le plus important est le détecteur.

### II.2 Détection à seuil fixe :

La sortie de l'étage de détection est considérée comme un signal aléatoire dans lequel chaque échantillon est caractérisé par une fonction densité de probabilité. Le détecteur réalise un test d'hypothèse binaire permettant de décider entre deux hypothèses  $H_0$  et  $H_1$  :

- $H_0$  : Indique l'hypothèse de l'existence du bruit seul ;
- $H_1$  : Indique l'hypothèse d'un signal utile en présence de bruit.

Quatre situations sont possibles à savoir :

- Si  $H_0$  est vraie et  $H_1$  est décidée. Cette erreur est appelée : Fausse alarme » ;
- Si  $H_1$  est vraie et  $H_0$  est décidée. Cette erreur est appelée : Non détection.
- Si  $H_1$  est vraie et  $H_1$  est décidée. C'est une décision correcte : Détection ;
- Si  $H_0$  est vraie et  $H_0$  est décidée. C'est une décision correcte.

Ces situations sont résumées dans le Tableau II-1 suivant.

Vraie / Décidée	$H_0$	$H_1$
$H_0$	Correcte	Non détection
$H_1$	Fausse alarme	Correcte

**Tableau II.1** : Les quatre situations possibles

Dans le cas d'utilisation d'un détecteur quadratique, le bruit supposé initialement Gaussien possèdera une distribution exponentielle, définie par :

$$f(r) = \frac{1}{2\sigma_n^2} e^{-\frac{r}{2\sigma_n^2}} \quad (\text{II-1})$$

Par conséquent la probabilité de fausse alarme sera donnée par :

$$p_{fa} = \int_{\beta}^{+\infty} \frac{1}{2\sigma_n^2} e^{-\frac{r}{2\sigma_n^2}} dr = e^{-\frac{\beta}{2\sigma_n^2}} \quad (\text{II-2})$$

Sous  $H_1$  la nouvelle densité devient :

$$f(r) = \frac{r}{\sigma_n^2} e^{-\frac{r^2+SNR}{2\sigma_n^2}} I_0\left(\frac{r\sqrt{SNR}}{\sigma_n^2}\right) \quad (\text{II-3})$$

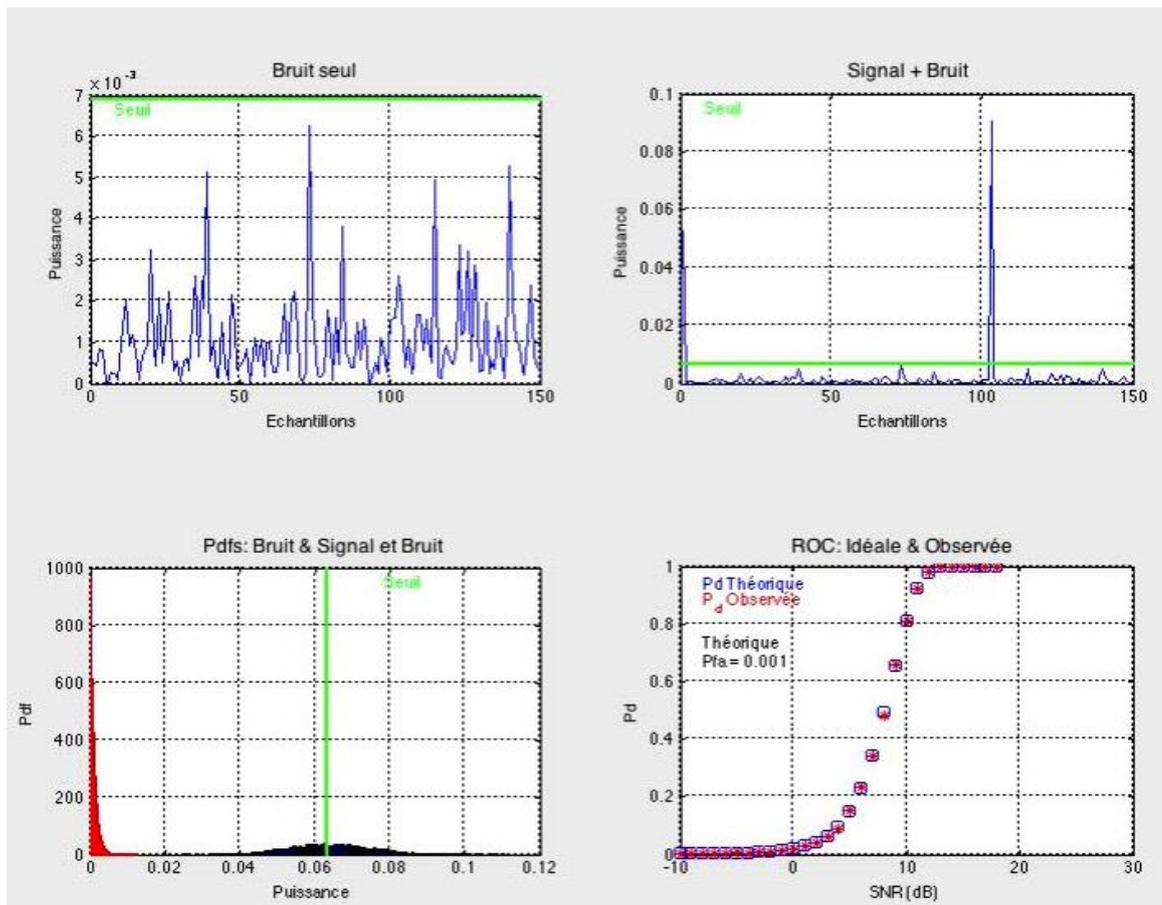
Par conséquent la probabilité de détection sera donnée par :

$$p_d = \int_{\beta}^{+\infty} e^{-(r+SNR)} I_0(2\sqrt{r \cdot SNR}) dr \quad (II-4)$$

$$p_d = Q_1(\sqrt{2 \cdot SNR}, \beta)$$

Où  $Q(\dots)$  est la fonction de Marcum.

En simulant le signal reçu à la sortie du filtre quadratique pour  $SNR=10$  et en appliquant le seuil fixe selon le développement ci-dessus pour une  $P_{fa}=10^{-3}$ , on a obtenu la Figure II.1. La 1<sup>ère</sup> sous figure montre le bruit seul, la 2<sup>ème</sup> montre le bruit plus signal utile à la sortie d'un détecteur quadratique. Dans la 3<sup>ème</sup> on a tracé les densités de probabilités correspondantes sous  $H_0$  et  $H_1$ . Finalement, on a tracé la probabilité de détection en fonction du  $SNR$  pour  $P_{fa}=10^{-3}$  et sa validation Monté Carlo.



**Figure II.1** : Détection à seuil fixe

Les inconvénients de la détection à seuil fixe, un seuil trop haut entraînera une perte la détection et un seuil trop bas génère des fausses alarmes supplémentaires.

Puisque le niveau de la puissance du bruit (bruit plus fouillis) est généralement variable et inconnu, l'utilisation d'un seuil de détection fixe calculé a priori en se basant sur les caractéristiques du récepteur conduit à un nombre très élevé de fausses alarmes ou une perte de détection. En effet, pour une probabilité de fausse alarme de  $10^{-8}$ , une augmentation de 3 dB dans le niveau de bruit peut causer une augmentation de la probabilité de fausse alarme de l'ordre de 10000 fois selon l'équation (II-2). Ceci a conduit au développement des méthodes à seuil adaptatif.

### **II.3 Détection à seuil adaptatif :**

#### **II.3.1 Détection CFAR :**

Le détecteur CFAR, proposé par H.M Finn and R.S Johnson en 1968 [6], prend, comme son nom l'indique, la moyenne des échantillons dans la fenêtre de référence comme estimation du niveau de bruit dans cette fenêtre. Ce détecteur est destiné à travailler dans un environnement homogène, car ces performances en termes de détection se dégradent dans un environnement à cibles multiples ou qui présente un niveau d'interférence important.

Une fenêtre de référence de N cellules est subdivisée en deux demi-fenêtres de N/2 cellules situées de part et d'autre de la cellule sous test. Le calcul de seuil adaptatif est obtenu par la somme arithmétique des cellules références multipliée par un facteur d'échelle, T, afin de maintenir la probabilité de fausse alarme à une valeur constante. Les cellules de garde, adjacentes à la cellule sous test, sont exclues de ce calcul car elles peuvent contenir une partie de la puissance de la cible. La décision est une décision partielle, elle est effectuée par la comparaison du signal provenant de la cellule sous test et le seuil adaptatif calculé. Si l'écho de la cellule sous test dépasse ce seuil, une cible est déclarée présente dans l'espace d'observation, si non elle est déclarée absente.

La particularité de la détection adaptative est que la valeur du seuil est variable en fonction des valeurs du signal reçu, celles-ci sont introduites dans un registre à décalage permettant de tester toutes les valeurs du signal, notons que les données enregistrées dans les cellules de test sont les même que celles utilisées dans la détection adaptative dans le radar, les opérations de calcul du seuil sont les mêmes et même le facteur  $K_0K_0$  est similaire.

Il existe plusieurs types de détecteurs CFAR, on note principalement :

- Le détecteur CA-CFAR : Cell Averaging CFAR ;
- Le détecteur GO-CFAR : Greatest Of CFAR;
- Le détecteur SO-CFAR : Smallest Of CFAR;
- Le détecteur OS-CFAR: Order Statistic CFAR.

On note que ces processus diffèrent selon la manière par laquelle le test statistique est obtenu.

### II.3.2 Détecteur CA-CFAR :

Le détecteur CA-CFAR est le premier détecteur proposé dans cette famille, il est présenté par la Figure II.2 ci-dessous.

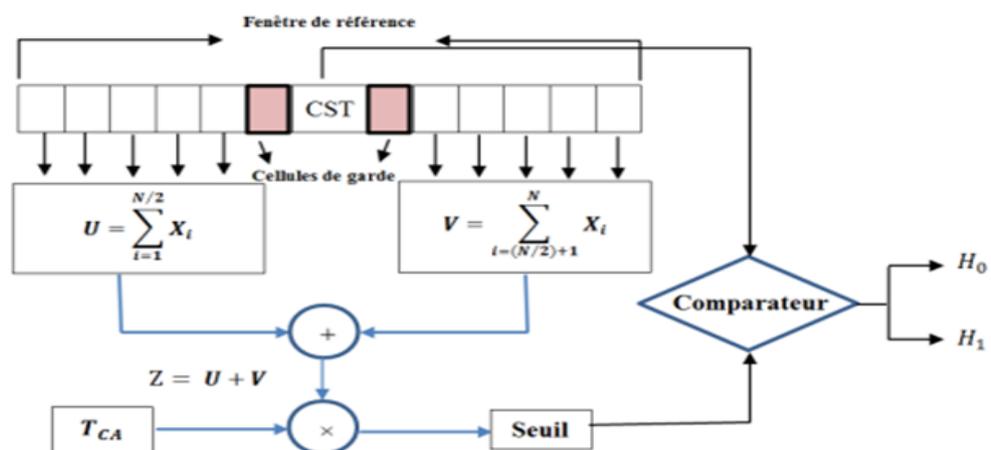


Figure II.2 : Schéma fonctionnel du détecteur CA-CFAR

Pour déterminer les probabilités de détection et de fausse alarme pour une seule cible dans le détecteur CA-CFAR, les hypothèses suivantes sont faites :

- La cible est dans la cellule test, hypothèse  $H_1$ ;
- Les deux fenêtres de référence U et V ne contiennent que du bruit, hypothèse  $H_0$ .

La puissance de bruit Z Pour ce détecteur est donnée par :

$$Z = \sum_{i=1}^N X_i = U + V \quad (\text{II-5})$$

La probabilité de détection  $P_d$  est donnée par [7] :

$$P_d = \left( \frac{1+S+T_{CA}}{1+S} \right)^{-N} \quad (\text{II-6})$$

Avec :

S : Rapport signal/Bruit;

$T_{CA}$  : Échelle du détecteur CA-CFAR.

Pour déterminer la probabilité d'une fausse alarme, il suffit de placer  $S = 0$  en relation (2.2) avec  $P_d$ , on aura :

$$P_{fa} = (1 + T_{CA})^{-N} \quad (\text{II-7})$$

L'indication d'une fausse alarme survenant dans un détecteur CA-CFAR dépend directement de deux facteurs qui sont le nombre de cellules de référence N et le facteur d'échelle  $T_{CA}$ . L'expression du facteur d'échelle est tirée à partir de l'expression (II.3), tel que :

$$T_{CA} = (P_{fa})^{-1/N} - 1 \quad (\text{II-8})$$

Donc, ce facteur d'échelle est déterminé à partir de la probabilité de fausse alarme désirée et du nombre de cellules de références par résolution de l'équation (I.3).

Si le nombre N des cellules de références devient très grand (N tend vers l'infini) les probabilités de détection et de fausses alarmes deviennent [8] :

$$P_d = \lim_{N \rightarrow +\infty} \left( 1 + \frac{T}{1+S} \right)^{-N} = \exp \left( -\frac{T}{1+S} \right) \quad (\text{II-9})$$

En posant  $S = 0$ ,  $P_{fa}$  à est:

$$P_{fa} = \exp(-T) \quad (\text{II-10})$$

Les équations (II.9) et(II.10) sont les expressions qui décrivent les performances du détecteur optimum de Neyman-Pearson. Ainsi, pour un environnement homogène, le détecteur CA-CFAR est le détecteur optimum, vu que sa probabilité de détection se rapproche de celle du détecteur de Neyman Pearson, dans le cas ou N très grand.

A partir de (II.10), nous pouvons obtenir  $P_d$  en fonction de  $P_{fa}$  du détecteur de Neyman-Pearson :

$$P_d = (P_{fa})^{\frac{1}{1+S}} \quad (\text{II-11})$$

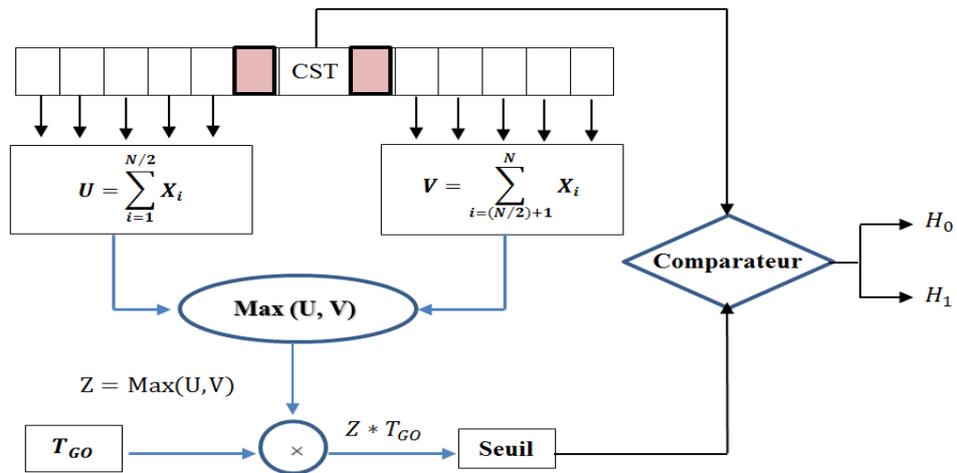
### II.3.3 Détecteur GO (Greatest-Of) – CFAR :

L'environnement du radar où la non-homogénéité est généralement sévère (effet de sol, fouillis de mer, présence de plusieurs cibles ...) n'est pas coopératif, ce qui rend les fausses alarmes difficilement contrôlables.

Dans la situation d'un bord de clutter, Hansen et Sawyers [9] en 1980, ont proposé le détecteur GO-CFAR. Il consiste à partager la fenêtre de référence en deux sous-fenêtres; l'une contient la cellule à gauche de la cellule testée et l'autre contient la cellule à droite de celle-ci. L'estimation du niveau de bruit pour la cellule testée est le maximum de chaque somme U et V de ces deux demi-fenêtres. Moore et Lawrence ont effectué une analyse détaillée de capacités de régulation de la fausse alarme du détecteur GO-CFAR. Ce détecteur fonctionne bien lorsque les bords sont en clutter. M Weiss [10] a montré que les performances de ce détecteur sont significativement réduites en présence d'une ou plusieurs cibles interférentes. Pour ce détecteur, la puissance de bruit Z est donnée par :

$$Z = \text{Max}(U, V) \quad (\text{II-12})$$

Le détecteur GO-CFAR est présenté par la Figure II.3 ci-dessous.



**Figure II.3** : Schéma fonctionnel du détecteur GO-CFAR

La probabilité de détection du détecteur GO-CFAR est fournie par [9] :

$$P_d = 2 \cdot \left(1 + \frac{T_{GO}}{1+S}\right)^{-\frac{N}{2}} - 2 \cdot \sum_{j=0}^{\frac{N}{2}-1} \frac{\left(\frac{N}{2}-1+j\right)!}{\left(\frac{N}{2}-1\right)!j!} \left(2 + \frac{T_{GO}}{1+S}\right)^{-\left(\frac{N}{2}+j\right)} \quad (\text{II-13})$$

Avec :

S: Le rapport signal sur bruit ;

$T_{GO}$  : Le facteur d'échelle du détecteur GO-CFAR ;

N: Nombre de cellules de référence du détecteur GO-CFAR.

Il suffit de donner  $S = 0$  pour trouver la probabilité de fausse alarme, dans la formule (II.13), nous obtenons :

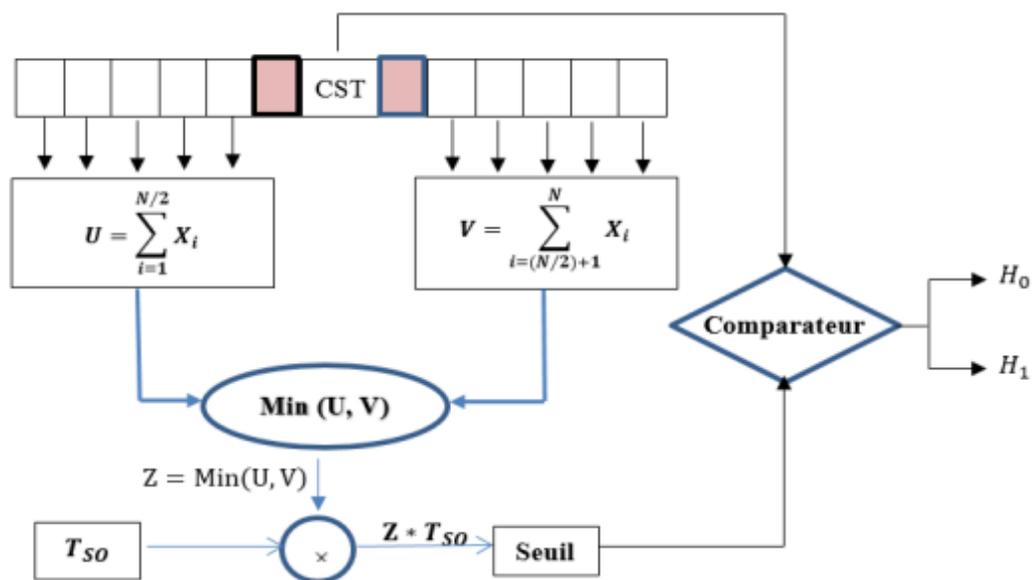
$$P_{fa} = 2 \cdot (1 + T_{GO})^{-\frac{N}{2}} - 2 \cdot \sum_{j=0}^{\frac{N}{2}-1} \frac{\left(\frac{N}{2}-1+j\right)!}{\left(\frac{N}{2}-1\right)!j!} (2 + T_{GO})^{-\left(\frac{N}{2}+j\right)} \quad (\text{II-14})$$

### II.3.4 Détecteur SO (Smallest -Of) – CFAR :

Weiss [10] a suggéré en 1982 l'utilisation du détecteur SO-CFAR (Smallest-Of- CFAR), dans lequel l'estimation du niveau du bruit est le minimum des sommes respectives  $U$  et  $V$  des deux demis fenêtres telle qu'illustré par la Figure II.4. Trunk a montré que le détecteur SO-CFAR permet d'améliorer la détection de cibles multiples. Ainsi, dans le cas de situations de cibles multiples, quand une estimation a priori du niveau de la puissance de l'interférence est rendue disponible par le système radar de poursuite, il est possible de diminuer le seuil adaptatif.

Pour le détecteur SO-CFAR, la puissance du bruit  $Z$  est donnée par l'expression suivante :

$$Z = \text{Min}(U, V) \quad (\text{II-15})$$



**Figure II.4 :** Schéma fonctionnel du détecteur SO-CFAR

La probabilité de détection  $P_d$  d'un détecteur SO-CFAR est donnée par l'équation suivante [10] :

$$P_d = 2 \cdot \sum_{j=0}^{\frac{N}{2}-1} \frac{\left(\frac{N}{2}-1+j\right)!}{\left(\frac{N}{2}-1\right)!j!} \left(2 + \frac{T_{SO}}{1+S}\right)^{-\left(\frac{N}{2}+j\right)} \quad (\text{II-16})$$

Il suffit de mettre  $S = 0$  dans la relation (2.16) de  $P_d$ , Pour trouver la probabilité d'une fausse alarme, on a :

$$P_{fa} = 2 \cdot \sum_{j=0}^{\frac{N}{2}-1} \frac{\left(\frac{N}{2}-1+j\right)!}{\left(\frac{N}{2}-1\right)!j!} \left(2 + T_{SO}\right)^{-\left(\frac{N}{2}+j\right)} \quad (\text{II-17})$$

### II.3.5 Comparaison des détecteurs CA, GO et SO-CFAR :

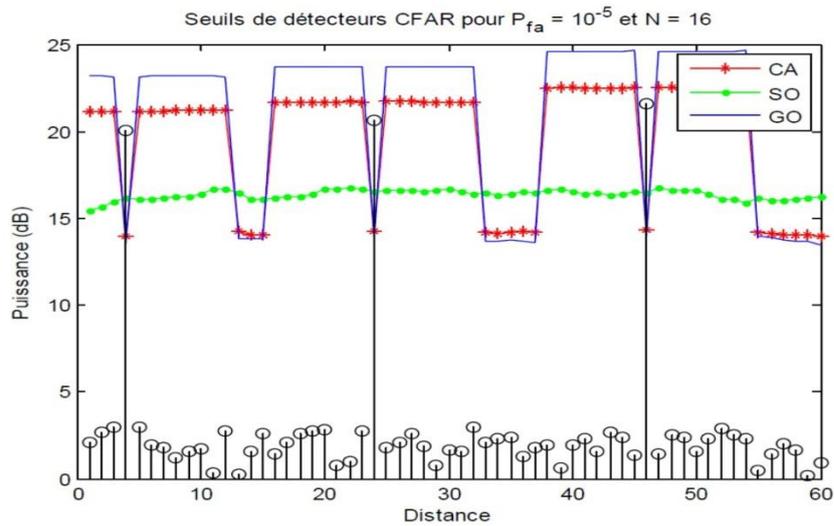
Dans cette partie, on va étudier les performances des détecteurs CA, GO et SO-CFAR dans différentes situations d'environnement cas d'absence des cibles interférentes, cas de bord du fouillis et cas de présence des cibles interférentes dans une seule demi-fenêtre. Les simulations sont faites avec 16 cellules de référence et une probabilité de fausse alarme de  $10^{-5}$ .

- Milieu homogène : En utilisant MATLAB pour étudier les performances de CA, GO et SO-CFAR, on génère des signaux radar aléatoires qui simule l'environnement homogène, puis on applique les différents détecteurs CA, GO et SO-CFAR. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure II.6 ci-dessous.

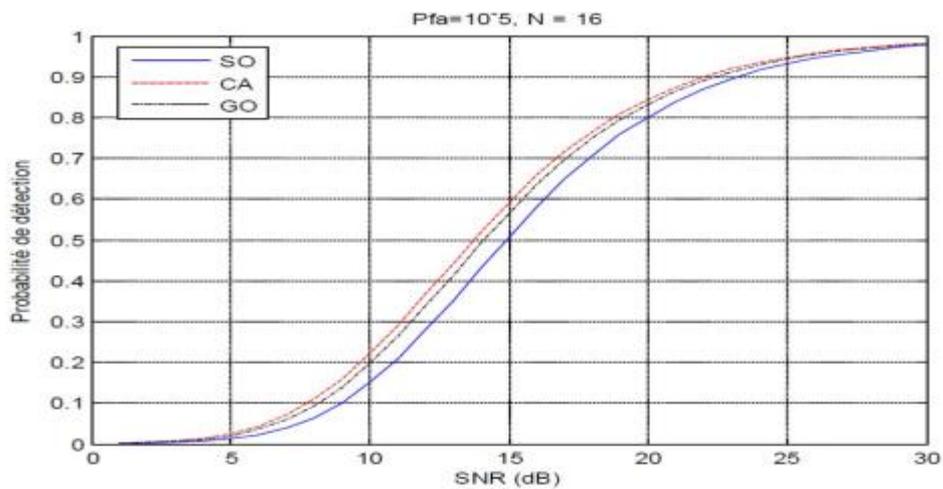
Dans un environnement similaire, la caractéristique de probabilité de détection en fonction du SNR est tracée. Les trois détecteurs présente des caractéristiques proches sauf qu'on peut observer que le SO-CFAR est le moins performant.

On peut aussi observer que le GO-CFAR a une légère perte de détection en comparant avec le CA-CFAR, cette perte est due au fait que CA-CFAR utilise toutes les cellules de référence pour l'estimation du seuil,

tandis que GO-CFAR utilise la plus grande moyenne associée à la moitié des cellules.



**Figure II.5 :** CA, GO et SO-CFAR dans un milieu homogène

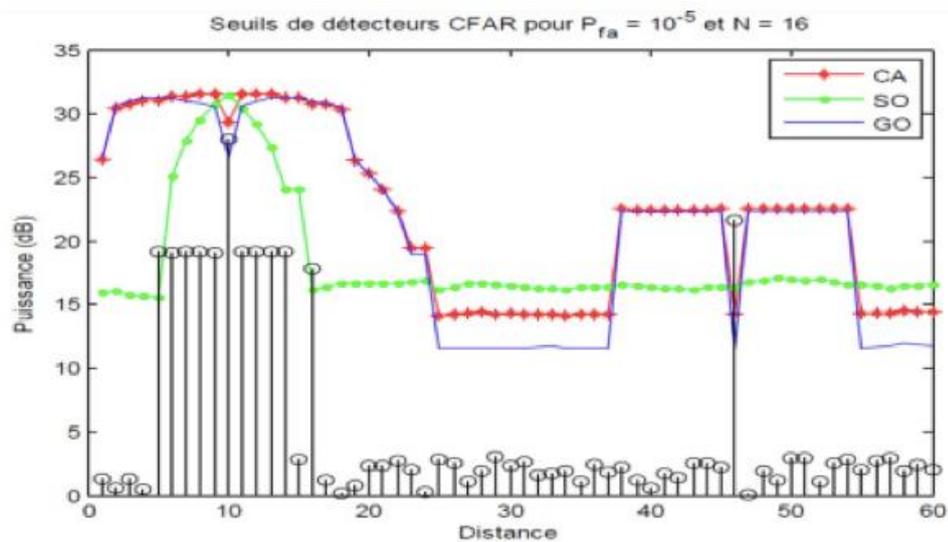


**Figure II.6 :**  $P_d$  en fonction du SNR pour CA, SO et GO-CFA

- Présence de bord de clutter :  
Le bord de clutter par définition c'est une transition de puissance du fouillis

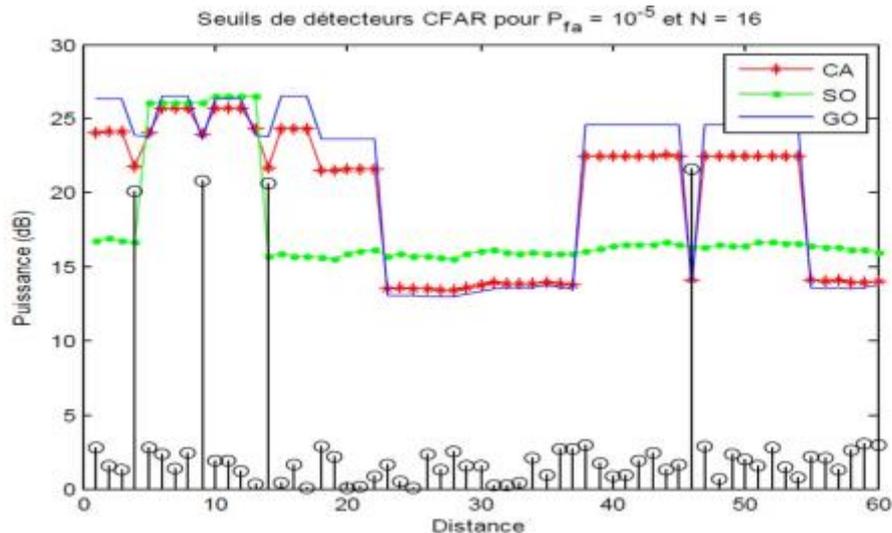
due à la réflexion d'une partie de l'énergie émise par un réflecteur naturel ou artificiel.

Nous avons simulé la performance des détecteurs CA, GO et SO-CFAR avec un bord de clutter, ceci pour  $P_{fa} = 10^{-5}$  et  $N = 16$ . Les résultats obtenus sont illustrés par la Figure II.7 ci-dessous. D'après cette figure, on observe que le GO-CFAR est plus performant que CA-CFAR, SO-CFAR dans cette situation.



**Figure II.7 :** Seuils CA, GO et SO-CFAR en présence d'un bord de clutter

- Présence de cibles interférentes : Dans cette partie, nous nous sommes intéressés aux cibles interférentes, de même pour les détecteurs CA, GO et SO-CFAR. La figure II.8 présente les résultats obtenus. Il est à observer que le détecteur SO-CFAR est bien meilleur que le GO-CFAR et CA-CFAR en particulier lorsque la cible interférente se trouve à moins de la moitié de la fenêtre de référence.



**Figure II.8 :** Seuils CA, GO et SO-CFAR en présence de cibles interférentes

En raison des limitations de performances des détecteurs CA, GO et SO-CFAR en présence de cibles interférentes, de nombreux détecteurs CFAR sont conçus pour fonctionner dans le cas de la présence des cibles interférentes. Parmi ces détecteurs on relève l'OS-CFAR.

### II.3.6 Détecteur OS (Ordred-Statistic)-CFAR :

Plus récemment, plusieurs travaux sur les statistiques d'ordre ont été publiés. Dans le détecteur OS-CFAR introduit par Rohling [11], les échantillons dans les cellules de référence sont classés dans un ordre croissant et le  $k^{\text{ième}}$  échantillon ordonné est utilisé pour estimer le niveau du seuil.

La particularité de l'OS-CFAR réside dans son aptitude à fonctionner dans des situations à cibles multiples, mais ce dernier perd ses performances dans un milieu homogène.

Le détecteur OS-CFAR est présenté par la Figure II.9 suivante.

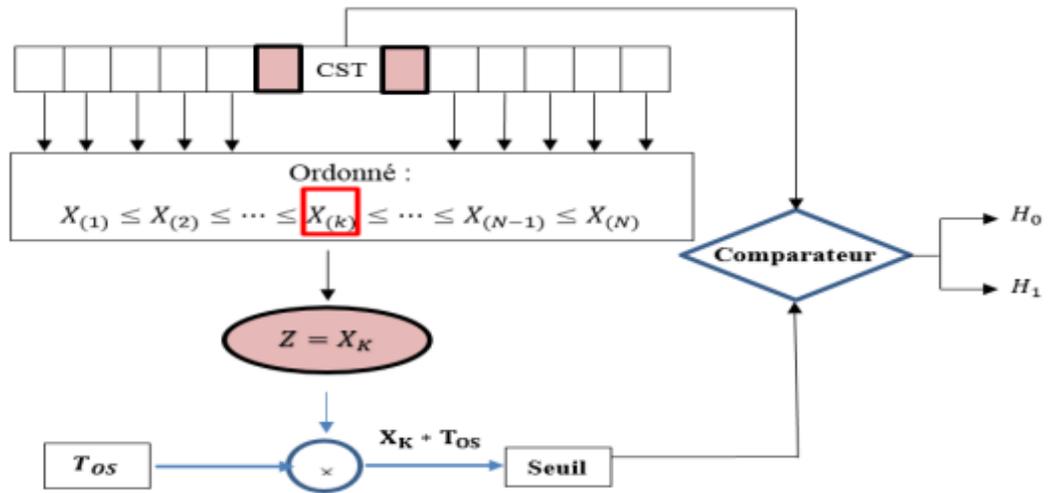


Figure II.9 : Le détecteur OS-CFAR

Dans la publication de Rohling [11] on relève que la probabilité de détection OS-CFAR qui est donnée par :

$$P_d = K \cdot \binom{N}{K} \cdot \frac{(T_d + N - K)!(K-1)!}{(T_d + N)!} \quad (\text{II-18})$$

Avec :

$$T_d = \frac{T_{os}}{1 + S};$$

$$\binom{N}{K} = \frac{N!}{(N - K)! K!};$$

\$S\$ : le rapport signal à bruit ;

\$K\$ : l'ordre de la cellule que nous allons prendre pour l'estimation du seuil ;

\$T\_{os}\$ : Le facteur d'échelle.

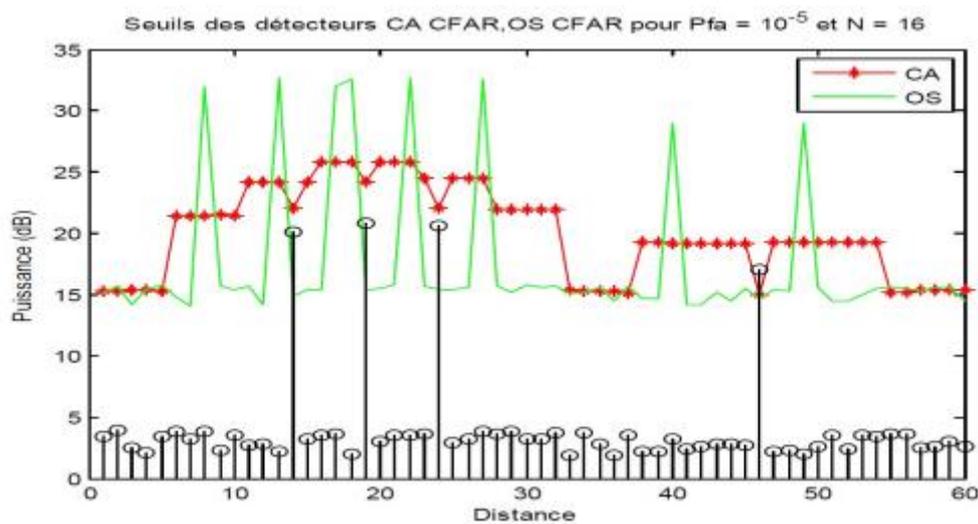
L'expression de \$P\_{fa}\$ est obtenue en remplaçant la puissance du signal utile par une valeur nulle, soit '\$S\$' par '\$0\$' dans l'équation (II.18), on obtient :

$$P_{fa} = K \cdot \binom{N}{K} \cdot \frac{(T_{os} + N - K)!(K-1)!}{(T_{os} + N)!} \quad (\text{II-19})$$

Dans un détecteur OS-CFAR, la probabilité de détection est en fonction du rapport signal sur bruit \$S\$, le nombre de cellules de référence \$N\$, l'ordre \$K\$ et du facteur

d'échelle  $T_{OS}$ . Ce facteur d'échelle  $T_{OS}$  peut être déterminé à partir de la résolution de l'équation (II.18) de la probabilité de fausse alarme.

Selon la même démarche précédente, nous avons simulé la performance du détecteur OS-CFAR tout en le comparant avec le détecteur CA-CFAR en présence des cibles Interférentes. Les paramètres de simulation ont été aussi  $N = 16$  et  $P_{fa} = 10^{-5}$ . Les résultats obtenus sont présentés dans la Figure (II-10) suivante :



**Figure II.10 :** CA et OS-CFAR en présence de cibles interférentes

Il est à observer que les deux détecteurs CA-CFAR et OS-CFAR détectent la cible isolée avec une perte CFAR supplémentaire pour le détecteur OS-CFAR. Cependant, les cibles interférentes présentes aux cellules distances : 14, 19 et 24, sont ratées par le CA-CFAR et détectées par l'OS-CFAR. Par conséquent, on peut conclure que le détecteur OS-CFAR présente une meilleure performance en présence des cibles interférentes.

## **II.4 Conclusion :**

Ce chapitre était réservé à une étude comparative relative à un certain nombre de détecteurs de la famille CFAR, il s'agit des détecteurs CA-CFAR, GO-CFAR, SO-CFAR et OS-CFAR. On a évalué leurs performances de détection dans des milieux homogènes et non-homogènes aussi bien qu'en présence de cibles interférentes.

Nous avons montré dans le cas d'un milieu homogène que le CA-CFAR est le plus adapté, en présence de l'effet du bord de fouillis, le détecteur GO-CFAR est plus performant .par contre si la CST se trouve dans le claire, le détecteur SO-CFAR est plus robuste et en présence de cibles interférentes dans une des demi fenêtrés U et V et le détecteur OS-CFAR est performant en présence des cibles interférentes dans les deux demi fenêtrés.

## Chapitre III : Etude des performances du détecteur KBS-CM-CFAR

### III.1 Introduction :

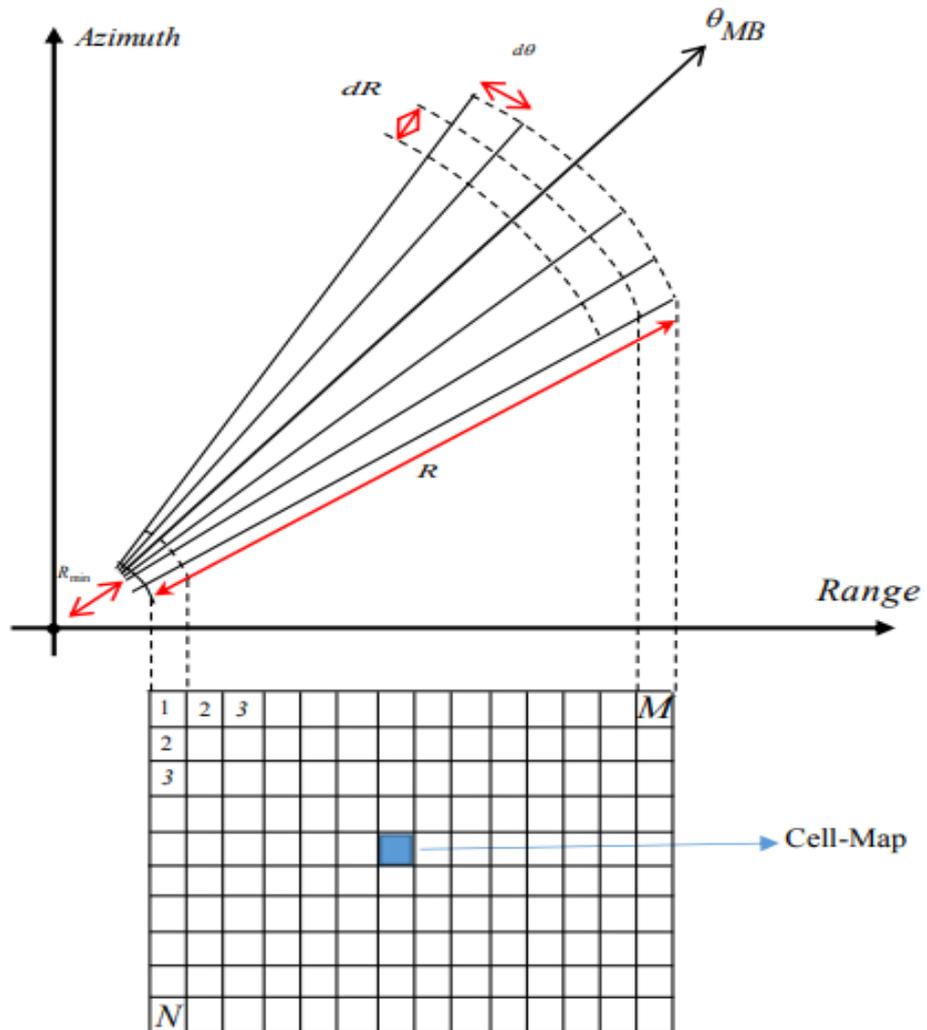
Pour obtenir un traitement du taux constant de fausses alarmes (CFAR), un seuil adaptatif est utilisé pour identifier le signal radar. A partir de la puissance de cellules de distance voisines on peut calculer le seuil du détecteur CFAR, dites cellules de référence, situées de part et d'autre de la cellule sous test (CST). Les calculs de seuil de détecteur CFAR précédemment étudiés utilisés pour estimer le niveau de puissance de clutter sans aucune connaissance préalable de l'environnement. Chaque détecteur CFAR peut convenir à un environnement de clutter particulier, mais pas à tous.

Ce chapitre décrit en premier lieu le détecteur CMAP-CFAR puis on s'intéresse au détecteur CMAP-CFAR utilisant le KBS (Knowledge Base System). Cette connaissance aide le détecteur CMAP-CFAR à sélectionner une cellule de référence qui a des performances du clutter similaires à la cellule "CST" testée.

### III.2 Le détecteur CMAP-CFAR :

#### III.2.1 Principe :

Le détecteur CMAP-CFAR est un filtre autorégressif à un seul pôle pour mettre à jour l'estimation de la puissance du fouillis. Ce détecteur utilise un estimateur à fenêtre glissante qui prend la moyenne sur  $m$  balayages. À chaque scan de l'espace radar, l'estimation de la puissance du fouillis est mise à jour par un lissage exponentiel de chaque cellule de résolution telle qu'illustrée par la Figure III.1 [12].



**Figure III.1:** Espace radar divisé en cellules (Cell-Map)[12].

### III.2.2 Formulation mathématique de détecteur CMAP-CFAR :

Dans cette technique, c'est la dernière estimation seulement qui est utilisée au lieu de celles issues des  $m$  balayages précédents. À chaque sortie de la  $k^{\text{ème}}$  cellule du  $N^{\text{ème}}$  balayage,  $q(k)$  est pondérée par le facteur  $\alpha$  qui représente un paramètre de gain du filtre assurant la stabilité du système ( $0 < \alpha < 1$ ) ; puis elle est ajoutée à l'estimation précédente de la puissance du clutter  $y(n)$  pondérée à son tour par le facteur  $(1-\alpha)$  afin de générer une nouvelle estimation.

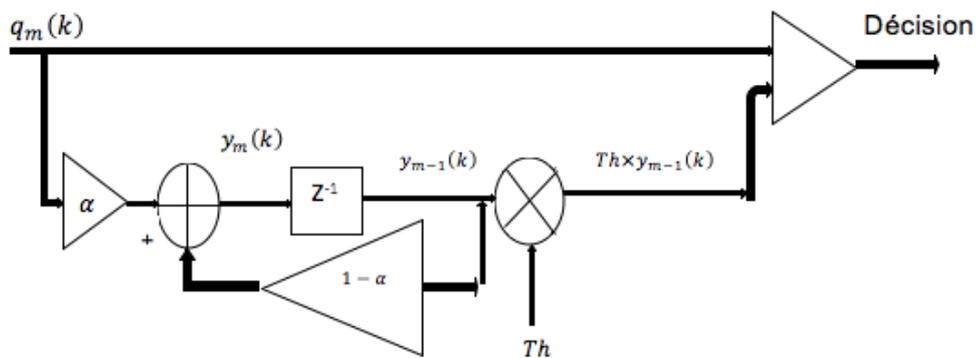


Figure III.2 : Schéma synoptique du détecteur CMAP-CFAR [12]

Le seuil  $Th$  est calculé de manière à assurer une probabilité de fausse alarme constante. La décision finale sur la présence ou non de la cible est réalisée en comparant la cellule de test  $q(k)$  et le seuil pondéré :

$$y_m(k) = (1 - \alpha) \times y_{m-1}(k) + \alpha \times q_m(k) \quad (\text{III.1})$$

Pour obtenir une forme plus simple de  $y_{m-1}(k)$  nous pouvons réécrire l'équation (III.1) selon :

$$y_{m-1}(k) = (1 - \alpha) \times y_{m-2}(k) + \alpha \times q_{m-1}(k) \quad (\text{III.2})$$

Soit:

$$y_{m-2}(k) = (1 - \alpha) \times y_{m-3}(k) + \alpha \times q_{m-2}(k) \quad (\text{III.3})$$

En remplaçant l'équation (III.2) dans (III.1), on obtient:

$$y_m(k) = (1 - \alpha) \times ((1 - \alpha) \times y_{m-2}(k) + \alpha \times q_{m-1}(k)) + \alpha \times q_m(k) \quad (\text{III.4})$$

Soit :

$$y_m(k) = \alpha \times q_m(k) + \alpha(1 - \alpha) \times q_{m-1}(k) + (1 - \alpha)^2 \times y_{m-2}(k) \quad (\text{III.5})$$

Encore, en remplaçant l'équation (III.3) dans (III.1), on obtient:

$$y_m(k) = \alpha \times q_m(k) + \alpha(1 - \alpha) \times q_{m-1}(k) + (1 - \alpha)^2 \times ((1 - \alpha) \times y_{m-3}(k) + \alpha \times q_{m-2}(k)) \quad (\text{III.6})$$

D'où :

$$y_m(k) = \alpha \times q_m(k) + \alpha(1 - \alpha) \times q_{m-1}(k) + \alpha(1 - \alpha)^2 \times q_{m-2} + (1 - \alpha)^3 \times y_{m-3}(k) \quad (\text{III.7})$$

En répétant ces étapes on peut obtenir une formulation généralisée de l'équation (III.1). Soit :

$$y_m(k) = \sum_{i=0}^m \alpha(1 - \alpha)^i q_{m-i}(k) \quad (\text{III.8})$$

### III.2.3 Evaluation des probabilités liées au CMAP-CFAR :

#### a. Probabilité de détection

Les densités de probabilité correspondante à la présence et l'absence de la cible à la sortie du détecteur sont données respectivement par [13,14] :

$$\begin{cases} p_r(q|H_0) = \frac{q^{p-1}}{(p-1)!} \exp(-q) \\ p_r(q|H_1) = \frac{q^{p-1}}{(p-1)!(1+SNR)^p} \exp\left(-\frac{q}{1+SNR}\right) \end{cases} \quad (\text{III.9})$$

Ce qui permet de formuler la probabilité de détection selon :

$$p_D = \int_0^{\infty} p_r(y) \int_{Th}^{\infty} p_r(q|H_1) dq dy \quad (\text{III.10})$$

En remplaçant l'équation (III.9) sous  $H_1$  dans l'équation (III.10), nous obtenons la probabilité de détection :

$$p_D = \sum_{k=0}^{n-1} \prod_{n=0}^m \binom{n+k-1}{k} \left(Th \frac{\alpha \times (1-\alpha)^n}{1+SNR}\right)^K \left(1 + Th \times \frac{\alpha \times (1-\alpha)^n}{1+SNR}\right)^{-(n+k)} \quad (\text{III.11})$$

### b. Probabilité de fausse alarme

La probabilité de fausse alarme est donnée par [13, 14] :

$$pfa = \int_0^{\infty} p_r(y) \int_{Th}^{\infty} p_r(q|H_0) dq dy \quad (III.12)$$

Elle est obtenue directement en mettant  $SNR = 0$  dans l'expression de la probabilité de détection, soit:

$$pfa = \prod_{n=0}^m \left( \frac{1}{1 + \alpha \times (1 - \alpha)^n \times Th} \right) \quad (III.13)$$

#### III.2.4 Résultats et discussions :

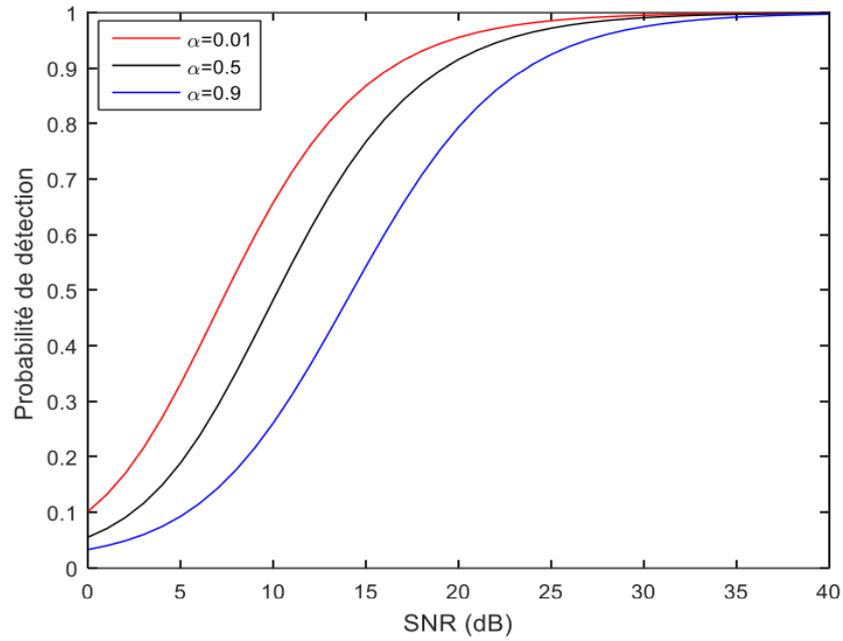
Dans ce qui suit nous allons analyser le détecteur CMAP-CFAR présenté ci-dessus. Nous allons tracer les courbes de performance probabilité de détection en fonction du SNR pour des différentes valeurs de  $pfa$  et  $\alpha$ .

Le seuil  $Th$  est calculé à partir de l'équation (III.13). Étant donné le coefficient de pondération  $\alpha$ , nous varions la probabilité de fausse alarme. Le tableau ci-dessous montre les valeurs de  $Th$  pour différentes valeurs de  $pfa$  et  $\alpha$ .

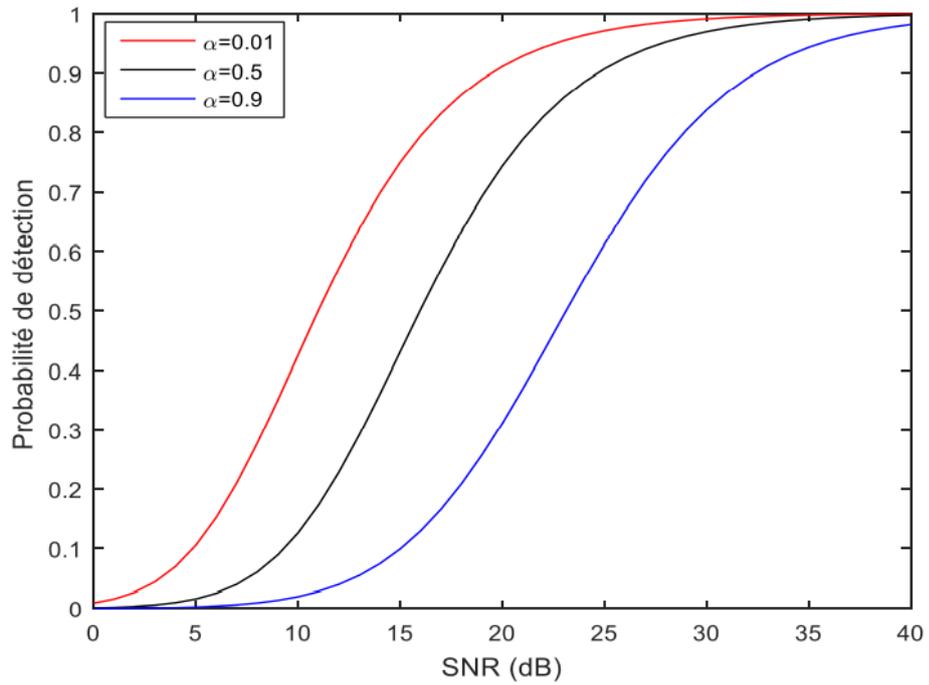
$\alpha$	$pfa$	$Th$	$\alpha$	$pfa$	$Th$	$\alpha$	$pfa$	$Th$
0.01	$10^{-2}$	4.6	0.5	$10^{-2}$	9	0.9	$10^{-2}$	25.6
	$10^{-4}$	9.4		$10^{-4}$	31.4		$10^{-4}$	190
	$10^{-6}$	143		$10^{-6}$	76.6		$10^{-6}$	854

**Tableau III.1:** Valeurs de seuil  $Th$

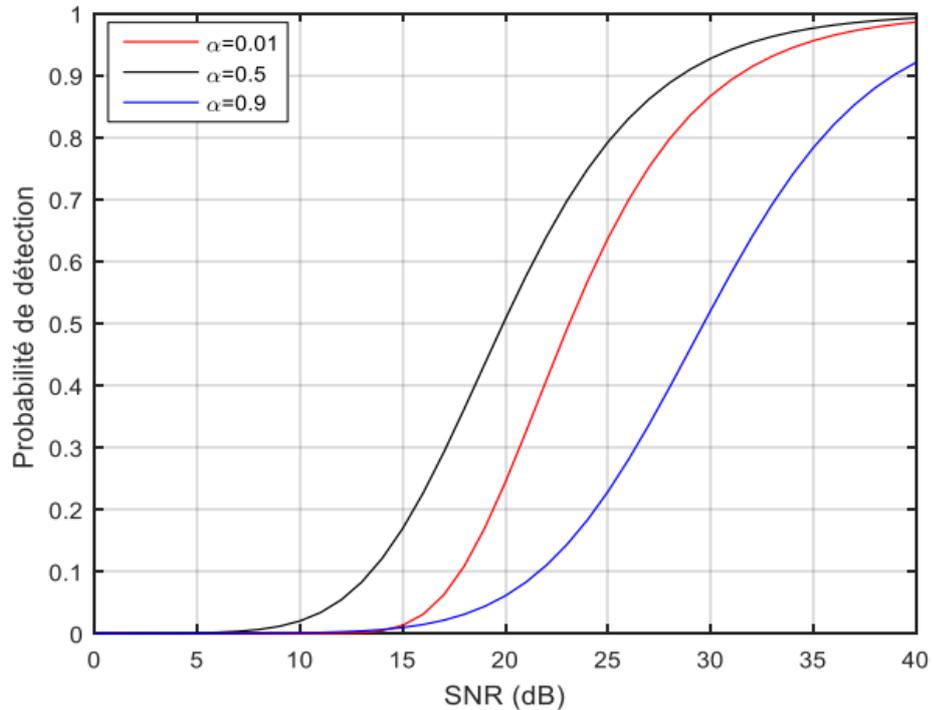
Les résultats obtenus sont présentés par les Figures III-3, III-4 et III-5, il s'agit de la probabilité de détection en fonction du rapport signal à bruit pour des différentes probabilités de fausse alarme et différentes valeurs de  $\alpha$ .



**Figure III.3** : Probabilité de détection en fonction de SNR pour  $P_{fa}=10^{-2}$ .



**Figure III.4** : Probabilité de détection en fonction de SNR pour  $P_{fa}=10^{-4}$ .



**Figure III.5** : Probabilité de détection en fonction de SNR pour  $P_{fa}=10^{-6}$

Nous observons que pour  $\alpha$  petit, la probabilité de détection est meilleure que celle pour  $\alpha$  grand, ce qui est normale puisque  $\alpha$  est très petit ( $\alpha$  tend vers 0), le système tend à avoir un seuil fixe et par conséquent nous obtenons la détection optimale. Par contre, lorsque  $\alpha$  est grand ( $\alpha$  tend vers 1), en omettant les échantillons précédents pour aboutir à une estimation du seuil d'où la dégradation de la probabilité de détection.

Nous avons examiné l'effet des paramètres de gain du filtre  $\alpha$  sur la probabilité de détection et la probabilité de fausse alarme. Nous observons que pour  $\alpha$  petit, la probabilité de détection est meilleure que celle pour  $\alpha$  grand. La probabilité de fausse alarme diminue quand  $\alpha$  augmente.

Le détecteur CMAP-CFAR exploite l'homogénéité intrinsèque locale de l'environnement radar dans lequel l'espace radar est divisé en cellules carte de fouillis. Il est préférable qu'il soit utilisé pour des petites surfaces équivalentes radar ou pour des cibles volant tangentiellement au cercle formé par le noyau cible-radar.

### **III.3 Sources de connaissances KBS :**

#### **III.3.1 Importance des sources KBS dans la détection radar :**

La capacité de détection du détecteur de radar a toujours été associée à la connaissance de l'environnement radar [15]. Plus on dispose de connaissances sur l'environnement radar, meilleures sont vos capacités de détection radar. Autrement dit, les performances du détecteur de radar peuvent être améliorées en appliquant la connaissance de l'environnement, Cette connaissance du fouillis clutter environnemental vous permet de calculer le seuil optimal pour le détecteur CFAR, dans la cellule de référence qui ressemble le plus à la cellule testée.

#### **III.3.2 Système d'Information Géographique (SIG) :**

Grâce à près d'un demi-siècle de développement, le SIG ou GIS en anglais (Géographie Les systèmes d'information) sont devenus des technologies très populaires et assez matures. Surtout ces dernières années, le SIG a joué un rôle important dans les capacités d'optimisation du GPS et des itinéraires. Le SIG est un système intégré de traitement et d'analyse de données géo-spatiales. En Chine, les systèmes d'information géographique ont fait des progrès remarquables au cours des 30 dernières années, y compris les enquêtes sur les ressources, , l'évaluation environnementale, la prévision des catastrophes, la gestion des terres, l'urbanisme, les télécommunications, les transports, la police militaire, l'eau, l'électricité, la gestion des installations publiques, foresterie, élevage, statistiques et presque tous les domaines du financement commercial [16].

#### **III.3.3 Modélisation des données géographiques :**

Les objets géographiques affichés sur la carte sont représentés par des données géographiques et descriptives et liens entre elles dans la machine. Il existe deux modèles de données spatiales en unités homogènes :

- Raster (tramé) : mailles de grille ;
- Vecteur : points, lignes, polygone.

a. Modèle raster : Les cartes sont découpées selon une grille de points (ou pixels) de différentes tailles. Évaluer Les pixels représente l'un des éléments suivants :

- La valeur mesurée au centre de la maille ;
- La valeur moyenne mesurée dans la maille ;
- La moyenne des valeurs mesurées à chaque sommet de la maille.

Par conséquent, la sélection d'une entité cartographique minimale est essentielle pour la conception de la base de données.

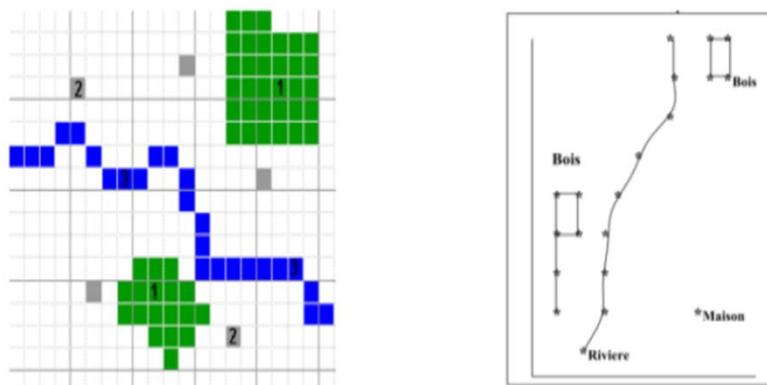
b. Modèle vecteur : Le modèle vecteur se compose de trois types d'entités de base : points, lignes et polygones.

Point : Représente une entité ponctuelle (0 dimension). Exemple : Les poteaux électriques, les arrêts de bus, ..... etc.

Ligne : C'est l'ensemble contenu de segments délimités par des sommets. Si les lignes sont coupées par d'autres, les croisements sont appelés intersections. Exemple : Les routes, le réseau hydraulique ... etc.

Polygone : C'est une surface délimitée par une série de lignes connectées entre elles. Exemple : Les parcelles, les zones de chasse ... etc.

**Exemple de modélisation** : La Figure III.6 montre un exemple de modélisation de données géographiques sur une machine selon deux modèles vecteur et raster.



**Figure III.6** : Modélisation des données géographiques Raster et Vecteur

Dans un modèle raster, faire correspondre les coordonnées initiales de la carte avec les coordonnées initiales de la grille donne :

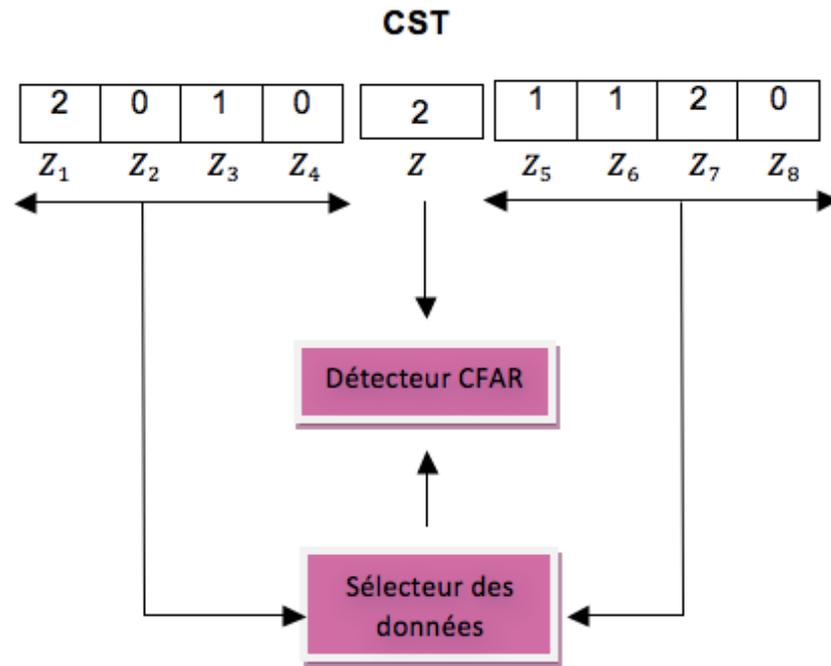
- Des cellules qui contiennent des 1, représentant la rivière ;
- Des cellules qui contiennent des 2, représentant les arbres ;
- Une cellule qui contient un 3, représentant la Bâtiment.

Dans le modèle vecteur, Lors de la mise en correspondance des coordonnées initiales de la carte aux coordonnées (0,0) du plan (X, Y) sur lequel l'objet est modélisé comprennent :

- Une rivière représentée par une suite de segments (arc), connectés entre eux par des nœuds ayant des coordonnées dans le plan (X, Y) ;
- Les arbres sont représentés par deux polygones dont les sommets sont des nœuds, chacun de ces derniers représente un arbre et il est localisé en coordonnées (X, Y) ;
- La maison est représentée par un point de coordonnées dans le plan (X, Y).

#### **III.3.4 Utilisation des données géographiques dans la détection CFAR :**

A l'aide des données SIG, vous pouvez utiliser un sélecteur de données pour sélectionner des cellules qui ont un indice SIG similaire à la cellule testée pour calculer le seuil du détecteur CFAR , La Figure III.7 illustre le principe d'un détecteur CFAR relié avec un sélecteur de données, Les cellules distantes représentées sur la Figure III.7 sont comptées de 0 à 2 avec les données de SIG 2 bits. L'information SIG pour la cellule testée est marquée par numéro 2. Les cellules de référence, les cellules  $Z_1$  et  $Z_7$  sont également numérotées 2. Cela signifie que nous pouvons les choisir pour calculer le seuil. si le nombre de cellules homogènes est très petit, on peut choisir les cellules marquées du chiffre 3 ou 1, Il est recommandé de sélectionner la cellule la plus proche de la cellule sous test [16].



**Figure III.7:** Détecteur CFAR utilisant le SIG

### III.3.5 Base de connaissance d'environnement dynamique DEKB :

Comme mentionné dans la section précédente, les détecteurs CFAR conventionnels basés sur l'estimation du clutter de la fenêtre de référence souffrent d'une dégradation significative des performances sur les milieux hétérogènes. Pour cette raison, il est indispensable d'exploiter des connaissances environnementales pour réduire l'impact des environnements hétérogènes. La partition du clutter sont obtenus en extrayant des connaissances utiles à partir de vastes quantités d'informations environnementales et sont mis à jour en temps réel parades échos radar.

Pour réduire l'impact de l'environnement hétérogène, la zone surveillée est divisée comme suit : Plusieurs zones en fonction de l'intensité du clutter. La partition du clutter sert à avoir des connaissances supplémentaires pour sélectionner les cellules de référence impliquées dans l'estimation du seuil.

Il existe deux étapes pour avoir la partition du clutter. Le premier est l'établissement d'une base de connaissances de l'environnement statique SEKB (Static Environmental Knowledge Based) qui extrait des connaissances utiles à partir d'informations environnementales. Cette étape se produit après une mise à jour dynamique. Cela permet à la base de connaissances de mettre à jour les informations obsolètes via l'écho radar pour obtenir une réponse en temps réel à l'environnement.

#### **a. Première étape : SEKB**

Contrairement à la carte du clutter terrestre conventionnelle qui ne donne que des valeurs absolues du coefficient de réflexion pour les coordonnées spatiales de la cellule de résolution radar [17], la carte SEKB possède beaucoup de connaissances a priori en plus du coefficient de réflexion. Trois étapes sont nécessaires pour créer une base de connaissances statique sur l'environnement :

- Premièrement, la définition d'un système de coordonnées cartésiennes, dont le point d'origine est le site radar et la division de la région d'intérêt en grille  $(x_i, y_j)$ .
- Deuxièmement, la zone entière est traitée comme une matrice M, chaque cellule ayant un vecteur  $(a_1, a_2, a_3, \dots)$  qui comprend plusieurs attributs.
- Troisièmement, les valeurs des attributs correspondants sont générées à partir des connaissances à priori.

#### **b. Deuxième étape : La mise à jour dynamique**

Comme déjà mentionné, et pour de nombreuses raisons, SEKB peut différer des champs de détection radar en temps réel. Par exemple :

- La distribution empirique et statistique de l'amplitude du clutter ne reflète pas exactement l'environnement actuel ;
- Le spectre de puissance du clutter change constamment pour la forêt sous les différentes vitesses du vent ;
- Lorsque des nouveaux bâtiments ou une tour d'eau sont construits, ceci devient une source considérable du clutter.

Par conséquent, les nouvelles données doivent modifier les valeurs d'attributs. Deux sources de données sont déterminées ici : l'écho radar et d'autres capteurs tels que (la température, la vitesse du vent, l'océan, l'imagerie et l'infrarouge). L'architecture de mise à jour dynamique est illustrée à la Figure III.8 [18]. Par conséquent, le principe du processus de mise à jour peut être décrit comme suit.

1. Le radar et les autres capteurs coopératifs interagissent avec l'environnement et extraire les informations les plus récentes  $[Q_1, \dots, Q_m]$ .
2. Évaluez les attributs qui doivent être changées. Les attributs à évaluer peuvent souvent être prédéterminés en identifiant les types de nouvelles données extraites. Par exemple, la répartition du clutter doit être considérée comme une nouvelle donnée issue des échos radar.
3. Si certains attributs doivent être mises à jour, le système radar appellera les algorithmes pour mise à jour respective. Sinon, le système ne met à jour que les données d'origine. Ce qui suit l'étape, la nouvelle valeur mise à jour  $p(i, j)$  de  $cell(i, j)$  sera reçue.

Enfin, une méthode de lissage exponentiel est utilisée pour calculer la dernière valeur d'attribut. Pour la  $n^{ime}$  mise à jour, la valeur d'attribut mise à jour est :

$$\hat{P}_n(i, j) = (1 - w)\hat{P}_{n-1}(i, j) + wp_n(i, j)$$

Où :

$\hat{P}_n(i, j)$ : désigne la valeur d'attribut finale de la cellule  $(i, j)$ .

$W$  : poids entre 0 et 1. À mesure que  $w$  augmente, la dernière valeur d'attribut dépend des nouvelles données que des données précédentes.

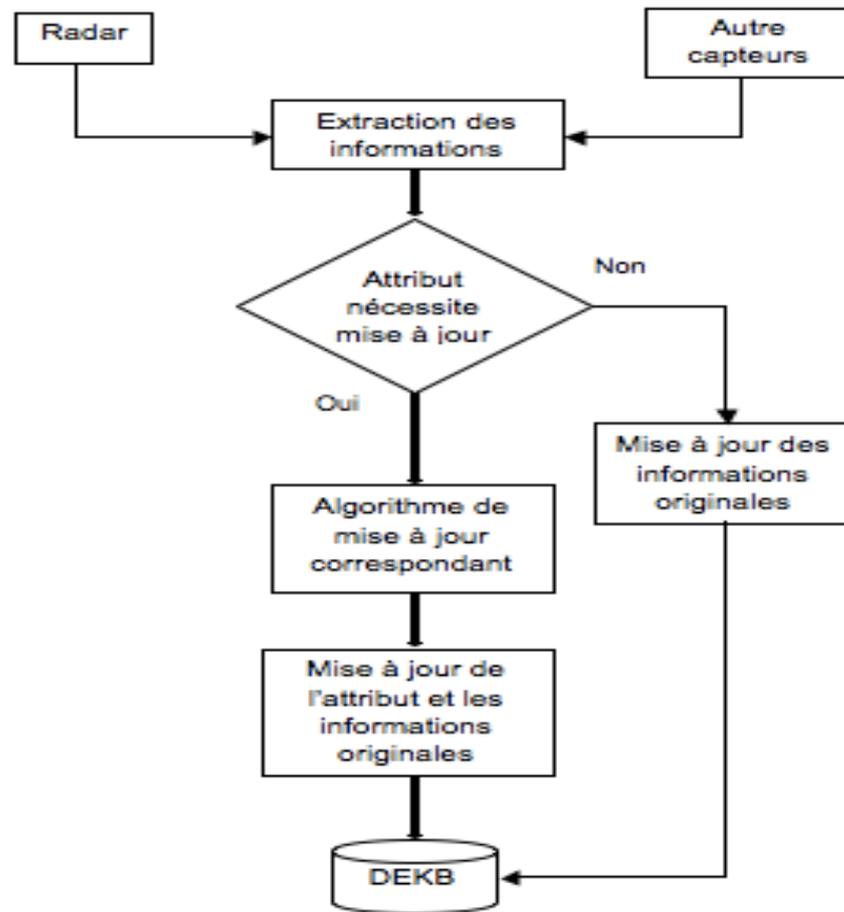


Figure III.8 : Algorithme de mise à jour des attributs [18]

### III.4 Détection basée sur les KBS :

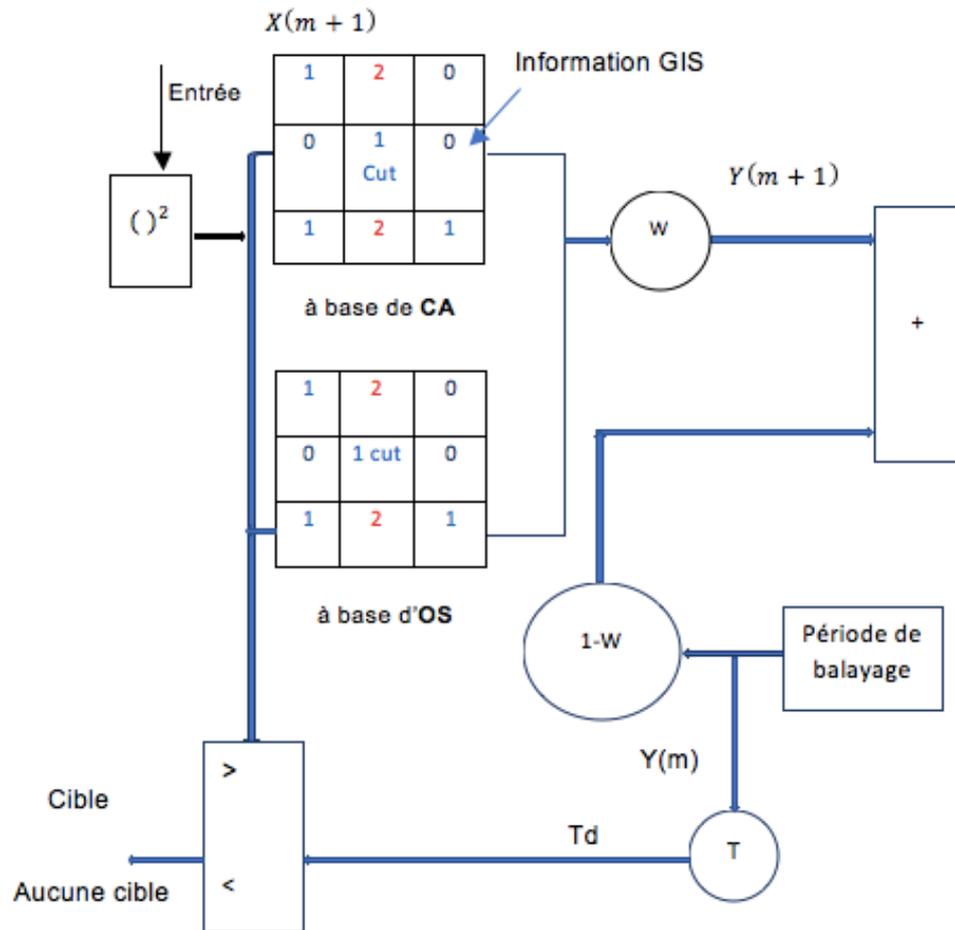
#### III.4.1 Indicateur d'homogénéité :

A partir des informations fournies par le GIS, il est possible d'affecter N cellules de référence à celles qui sont similaires à la cellule testée. De plus, pour tout  $i \in \{1, \dots, K\}$  évaluation de l'indicateur d'homogénéité:

$$D(i) = \begin{cases} 0 & \text{si } X_i \neq X_{cut} \\ 1 & \text{si } X_i = X_{cut} \end{cases} \quad (\text{III.14})$$

### III.4.2 Description du détecteur KBS-CM-CFAR :

Le principe de base de l'architecture KBS-CM-CFAR est de diviser la cellule clutter-map en plusieurs cellules à l'aide d'un radar à haute résolution.



**Figure III.9 :** La structure de KBS-CM-CFAR

Pour déterminer la présence de cibles dans ces cellules CM, nous avons comparé le contenu des cellules testées (CST) au seuil  $T_{y_{m-1}}$ . Des cellules participants dans l'estimation du seuil sont celles qui ont la même information GIS puis nous faisons la moyenne de ces cellules pour construire le KBS-CM-CFAR, soit on ordonne ces cellules de la carte dans un ordre croissant puis on va choisir de la  $K^{\text{ième}}$  cellule ;  $K$  correspond à  $3M/4$ .

### III.4.3 Etude des performances du détecteur KBS-CM-CFAR :

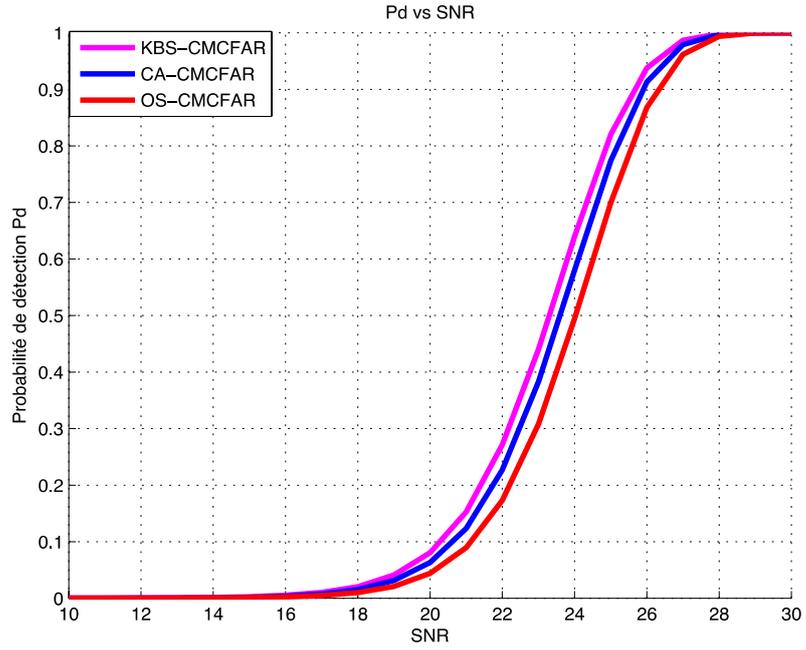
Cette partie est réservée à l'analyse des performances du détecteur KBS-CM-CFAR dans diverses conditions d'environnement en absence et en présence des cibles interférentes et du self masking. Une comparaison est réalisée entre ce détecteur et les détecteurs CA-CM-CFAR et OS-CM-CFAR.

La Figure III.10 montre la probabilité de détection en fonction du SNR des détecteurs CA-CM-CFAR, OS-CM-CFAR et dans le cas d'absence d'interférence et self masking en tenant compte les paramètres suivants ( $M=8$ ,  $W=0.0625$ ,  $P_{fa} = 10^{-5}$ ).

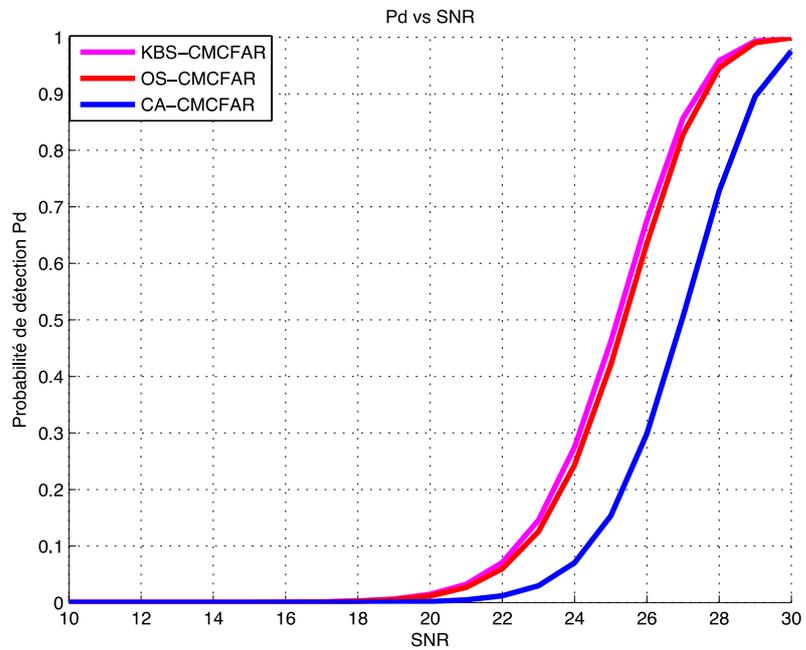
D'après la Figure III.10 nous avons remarqué que le détecteur KBS-CM-CFAR montre des meilleures performances par rapport au CA-CM-CFAR et OS-CM-CFAR ( $k=4$ ,  $k=6$ ). Le détecteur KBS-CM-CFAR présente des meilleures performances sans interférences et self masking en le comparant aux CA-CM-CFAR et OS-CM-CFAR ( $k=4, K=6$ ).

La Figure III.11 montre la simulation des probabilités de détection en fonction SNR des détecteurs KBS-CM-CFAR, CA-CM-CFAR et OS-CM-CFAR dans un environnement non homogène en présence d'interférences et self masking.

D'après cette figure, nous pouvons conclure que le KBS-CM-CFAR maintient ces meilleures performances dans cet environnement non-homogène car il a une connaissance sur les cellules clutter-map avec des interférences et self masking. Le KBS-CM-CFAR est légèrement meilleure que l'OS-CM-CFAR.



**Figure III.10 :** PD Vs SCR de CA-CM-CFAR, OS-CM-CFAR et KBS-CM-CFAR dans un environnement homogène



**Figure III.11 :** PD Vs SCR de CA-CM-CFAR, OS-CM-CFAR et KBS-CM-CFAR dans un environnement non homogène

### **III.5 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté une technique de détection adaptative basée sur la connaissance d'environnement pour améliorer la détection radar. Ce détecteur qui peut prendre plusieurs formes est qualifié de KBS-CM-CFAR. Il est comparé avec des détecteurs CA-CM-CFAR et OS-CM-CFAR, où il a montré ses meilleures performances.

## Conclusion générale

Le taux de fausse alarme constant (CFAR) est un algorithme de traitement numérique du signal peut être utilisé dans des nombreuses situations, son principe est de conduire au calcul des seuils adaptatifs pour la détection automatique des cibles. L'objectif du concept CFAR est de faire en sorte que ces seuils soient immunisés contre toutes variations du bruit et/ou clutter.

De ce fait, ont découlé plusieurs détecteurs CFAR, l'idée principale restant cependant la même. Dans le détecteur CA-CFAR, par exemple, le niveau du clutter est estimé par la moyenne arithmétique des échantillons. Les deux variantes du CA-CFAR, qui sont le GO-CFAR et le SO-CFAR ont été proposées pour améliorer la détection dans un environnement non homogène. Les détecteurs OS-CFAR sont proposés pour contourner l'effet de capture. Dans des cas plus complexes, l'environnement non homogène, et présence de cibles multiples, ces détecteurs font cependant preuve de limitation, d'autres méthodes doivent ainsi être envisagées.

Ce travail propose d'étudier et de traiter le problème de la détection CFAR dans un milieu homogène représenté par une distribution gaussienne. Pour cela nous avons choisi d'utiliser les quatre types de détecteurs tels que le CA, GO, SO et OS-CFAR, afin de déterminer la performance de chacun d'entre eux dans différentes situations.

En conclusion, l'étude des Radar reste un domaine très difficile et plein de perspectives de recherche telles que l'étude des milieux non-homogènes et des cas de types de Radar bien précis.

La capacité de détection du détecteur radar est toujours liée à la connaissance de l'environnement radar. Plus cette connaissance augmente, plus la capacité de

détection radar est améliorée. En d'autres termes, il est possible d'améliorer les performances du détecteur radar en utilisant la connaissance à priori sur l'environnement.

## Références

- [1] Hammoudi El Hourra et Mekidiche Fatima ', Étude de Détecteur radar CFAR pour des milieux homogènes 'Université de Tlemcen , Département de télécommunication,2014 .
- [2] CHABBI Souâd,' Détection adaptative CFAR a censure automatique basée sur les statistique d'ordre en milieux non Gaussiens 'Université Mentouri Constantine,Faculté des sciences de Ingénieure,département d'électronique,2008
- [3] BENATIA\_DJAMEL'Techniques radars' Université Mostefa Ben Boulaïd - Batna 2, Département d'électronique, 2008.
- [4] Site internet :
- [5] Site internet :
- [6] H.M Finn and R.S Johnson, "Adaptive detection mode with threshold control as a function of spatially sampled clutter level estimate", RCA Review, 29(3) :414-464, September, 1968.
- [7] Skolnik,M.I, "Radar handbook", McGraw-Hill,3rd edition,USA,2008.
- [8] Debabi, R., "Etude et implémentation d'un détecteur VTM-CFAR dans un environnement non homogène", Thèse de Master 2 en Sciences en Electronique, Traitement du Signal, ES- DAT, Alger, Mai 2016.
- [9] G.V. Hansen and J.H. Sawyers, "Detestability loss due to greatest-of selection in a cell ave- raging CFAR", IEEE Transactions on aerospace and Electronics Systems,16 :115-118,1980.
- [10] M. Weiss, Analysis of some modified cell-averaging CFAR processors in multiple target si- tuations, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, AE, Jan.1982.
- [11] J H. Rohling," Radar CFAR thresholding in clutter and multiple target

situations", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, AES-19, 608-621, July 1983.

[12] LARBI BEKLAOUZ Hadj 'Études et analyse d'un nouveaux détecteur CMAP-CFAR utilisant la transformée de Gabor,Thèse de doctorat, Université de Mostaganem, 2017

[13] M.A.B.Z.D. Ivković,'Nonlinear fusion CFAR detector', Radar Symposium (IRS), 2015 16th International, 2015.

[14] M.B.M.K. M.Hamadouche, 'Analysis of the clutter map CFAR in Weibull clutter', Signal Processing, vol. 80, n° %11, pp. 117-123, 2000.

[15] F.Gini, M.Rangaswamy," Knowledge-based radar detection, tracking, and classification", Wiley-Interscience, 2008.

[16] Zou Kun, Second international conference on Geoscience and remote sensing, "CFAR detector using GIS information", Navigation Engineering Dept, Air Force Engineering University Xian, China, 2010.

[17] Darrah, C.A., Luke, D.W., 'Site-specific clutter modeling using DMA digital terrain elevation data (DTED), digital feature analysis data (DFAD), and Lincoln Laboratory five frequency clutter amplitude data", proc. of IEEE Int.Radar Conf., pp.178-183, 1996.

[18]Shuping Lu, Wei Yi, Guolong Cui, Lingjiang Kong , Xiaobo Yang, "Design and application of dynamic environmental knowledge based", IET Radar, Sonar and Navigation November 2015.