

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



Université SAAD DAHLEB BLIDA 1
Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales
Département Construction Aérienne



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Aéronautique

Option : CNS/ATM

(Communication, Navigation et Surveillance/ Management du Trafic Aérien)

*Analyse des processeurs CA-CFAR, OS-CFAR
et OSGO-CFAR dans un milieu homogène et non homogène*



Réalisé par :

*BOUDAA NESRINE
HELALI ABDEREZAK*

Encadré par :

Mme DOUDOU FATMA ZOHRA

ANNEE 2019/2020

ملخص

ككل المجالات العلمية ، لم يتوقف الرادار عن التطور ، لأهميته الكبيرة وضرورته في عدة مجالات أخرى.

يعتبر من أهم الاكتشافات في مجال الرادار. تقنية الكشف التلقائي مع الحفاظ على معدل ثابت للإنذار الخاطئ CFAR وتحليلها ومقارنة أدائها في بيئتين مختلفتين: متجانسة وغير متجانسة ، من خلال (OSGO CFAR ، OS و CA) في هذه تغيير الأهداف المتداخلة ، من أجل استنتاج أفضل كاشف في كل حالة.

عدد وموضع الأهداف المتداخلة ، وحجم النافذة ، والرتبة N وغيرها من المعلمات التي تؤثر على سلوك منحنيات احتمالية الكشف للكاشفات الثلاثة المدروسة. هدفنا من هذه الدراسة هو معرفة الكواشف التي تقدم أفضل أداء في كل حالة.

الكلمات المفتاحية : كشف الكلمات المفتاحية CFAR التكيفي، الأهداف

المتداخلة،CFAR WINDO،ضياح CFAR.

Abstract

Like all scientific fields, Radar detection has not ceased to develop, for its great importance and its necessity in several other fields.

Cfar is one of the most important discoveries in the radar field. It is an automatic detection technology while maintaining a constant false alarm rate. In this thesis we study 3 types of cfar (CA, OS and OSGO CFAR), by analyzing and comparing their performance in two different environments: homogeneous and heterogeneous, and depending on the change of the number and position of interfering targets, window size, rank N and other parameters that influence the behavior of the detection probability curves of the three detectors studied. Our objective of this study is to know the detectors which offer the best performances in each case.

Keywords: Adaptive CFAR detection,, Clutter, Interfering targets, CFAR WINDOW, CFAR loss.

Résumé :

Comme tous les domaines scientifiques, La détection Radar n'a pas cessé de se développer, pour sa grande importance.

Le Cfar est l'un des découvertes les plus importantes dans le domaine Radar. C'est une technique de détection automatique tout en maintenant un taux de fausse alarme constant. Dans cette thèse de fin d'étude nous allons étudier 3 types du cfar (CA, OS et OSGO CFAR) ,les analyser et comparer leurs performances des deux environnements, homogène et non homogène en variant le nombre et la position des cibles interférentes, la taille de la fenêtre, le rang N et d'autres paramètres qui influent sur le comportement des courbes de probabilités de détection des trois détecteurs étudiés. Notre objectif de cette étude est de connaître le détecteurs qui offre les meilleurs performances dans chaque cas.

Mots Clés: Détection adaptative CFAR, , Clutter, Cibles Interférentes, CFAR WINDOW, Perte CFAR

Remerciements

Nous tenons, en premier lieu, à dire et écrire « El hamdo li Allah » donc à remercier ALLAH le tout puissant, de nous avoir donné autant de courage et de patience pour mener à terme ce travail.

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude et reconnaissance à Monsieur KOUIDER ELOUAHED Boulenuar ,auprès de qui nous avons trouvé conseils et il fut le guide qui nous a reçu en toute circonstance avec sympathie. Et à notre promotrice Madame doudou F.Z maitre de conférences à l'Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales, de nous avoir proposé ce sujet et consenti tant d'efforts et de temps pour diriger ce travail de si près et de nous initier à la recherche.

Nos vifs remerciements vont également à nos proches qui nous ont aidés à persévérer dans cette voie. Nous leur disons aujourd'hui notre réussite et nous leur témoignons notre reconnaissance avec tout l'amour que nous pouvons leur donner.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je te dédie ma mère ce travail en témoignage De mon profond amour.

Puisse Dieu le tout puissant, te préserver et t'accorder santé,

Longue vie et bonheur.

Je dédie ce travail également à mon père, à mes frères

Et à tous les professeurs que j'ai rencontrés pendant

Mon cursus universitaire et scolaire.

HELLALI Abderazak

Dédicace

Tôt sont les merveilleuses personnes qui nous quittent sans prévenir, nous laissant nous démener comme nous le pouvons dans la vie, seuls leur amour et leurs mots me donnent la force de me relever à chaque instant pour reprendre la vie en main afin d'arriver à ce jour où j'ai l'honneur et la fierté, de vous dédier mon Travail de fin d'études pour l'obtention mon diplôme de Master 2 en Aéronautique, à toi papa, BOUDAA Lounis, à toi Maman, SEDDIKI Cherifa.

Reposez en paix, je vous aime.

Je dédie aussi ce travail à ma famille, mes amis et tous ceux qui m'aiment et me soutiennent.

BOUDAA Nesrine.

Table des matières :

<i>Abstract</i>	II
<i>Table des matières :</i>	VII
<i>Liste des figures :</i>	IX
<i>Liste des tableaux :</i>	XI
Chapitre I	
<i>I.1. INTRODUCTION :</i>	2
<i>I.2. Classification des systèmes radar :</i>	3
I.2.1 Radars imageurs / Radars non imageurs :	4
I.2.2 Radars primaires :	4
I.2.3 Radars à impulsions	5
I.2.4 Radars à onde continue :	5
I.2.5 Radars secondaires :	6
<i>I.3 Principe de fonctionnement :</i>	6
<i>I.4 Domaine de recherche dans le radar :</i>	7
I.4.1 Modélisation :	7
I.4.2 Estimation :	8
I.4.3 Détection :	8
I.4.4 Poursuite de la cible :	10
<i>I.5 Les Composantes d'un radar :</i>	12
I.5.1 Le transmetteur :	13
I.5.2 Le duplexeur :	13
I.5.3 L'Antenne :	13
I.5.4 Le Récepteur :	14
I.5.5 Un étage de traitement de signal :	14
<i>I.6 Modèles statistiques des cibles :</i>	15
I.6.1 Les modèles de fluctuations :	15
I.6.2 Modèles de swerling :	16
<i>I.7 Les Clutter et leur modélisation :</i>	18
I.7.1 Modélisation statistique :	19
<i>I.8 Distribution statistiques des échos radar :</i>	22
I.8.1 Modèle composé généralisé (GC) :	22
I.8.2 Modèle gaussien composé (CG) sans bruit :	24
I.8.3 Modèle de pareto généralisé (GP) sans bruit :	25
<i>I.9 Détection automatique des cibles :</i>	26
I.9.1 Critères de décision:	26
I.9.2 Critère de Bayes :	27
I.9.3 Critère du minimax :	29

I.9.4 Critère de Neyman-Pearson :	29
Chapitre II	
II.1 Introduction :	31
II.2 Le principe du CFAR :	31
II.3 Probabilité de fausse alarme :	32
II.4 CFAR WINDOW :	33
II.5 La perte CFAR	34
II.6 Les détecteurs CFAR :	35
II.6.1 Le détecteur CA-CFAR :	35
II.6.2 Le détecteur OS-CFAR :	37
II.6.3 Le détecteur OSGO-CFAR :	38
II.7 Conclusion :	39
Chapitre III	
III.1 Introduction :	40
III.2 Cas d'un milieu homogène :	40
III.3 Cas du milieu non homogène :	45
III.4 Conclusion :	54
Conclusion générale :	55
Bibliographie :	56

Liste des figures :

Chapitre I :

Figure I. 1 : Classification des systèmes RADAR.	4
Figure I. 2 : Principe de l'émission du radar	7
Figure I. 3 : Détection d'une cible	9
Figure I. 4 : Génération d'écho.....	10
Figure I. 5 : Calcul de la direction.....	11
Figure I. 6 : Les composantes de radar.	12
Figure I. 7 : Modèle de fluctuation Swerling I.....	16
Figure I. 8 : Modèle de fluctuation Swerling II.....	17
Figure I. 9 : Modèle de fluctuation Swerling III.	17
Figure I. 10 : Modèle de fluctuation de Swerling IV.....	18

Chapitre II :

Figure II. 1 : Principe CFAR.....	32
Figure II. 2 : La fonction de densité de probabilité	33
Figure II. 3 : Seuillage.....	33
Figure II. 4 : La fenêtre CFAR.....	34
Figure II. 5 : Une courbe de probabilité de détection typique illustrant la perte de CFAR	35
Figure II. 6 : Schéma synoptique du CA-CFAR.....	36
Figure II. 7 : Schéma synoptique OS-CFAR.....	38
Figure II. 8 : Schéma sinoptique OSGO-CFAR	39

Chapitre III :

Figure III. 1 : Fenêtre CFAR pour $N=8$	40
Figure III. 2 : Probabilité de détection en fonction du SNR,.....	41
Figure III. 3 : Fenêtre CFAR pour $N=16$	41
Figure III. 4 : Probabilité de détection en fonction du SNR,.....	42
Figure III. 5 : Fenêtre CFAR pour $N=24$	42
Figure III. 6 : Probabilité de détection en fonction du SNR,.....	43
Figure III. 7 : Fenêtre CFAR pour $N=32$	43
Figure III. 8 : Probabilité de détection en fonction du SNR,.....	44
Figure III. 9 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs	45
Figure III. 10 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS, OSGO CFAR) $N=16$, 4 cibles interférentes.	46
Figure III. 11 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS, OSGO CFAR) $N=16$, 5 cibles interférentes.	47
Figure III. 12 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS, OSGO CFAR) $N=16$, 6 cibles interférentes.	47
Figure III. 13 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS, OSGO CFAR) $N=24$, 6 cibles interférentes dans 2 fenêtres différentes.	48
Figure III. 14 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS, OSGO CFAR) $N=24$, 7 cibles interférentes dans 2 fenêtres différentes.	49
Figure III. 15 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS, OSGO CFAR) $N=24$, 6 cibles interférentes dans la même fenêtre.	49
Figure III. 16 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS, OSGO CFAR) $N=24$, 7 cibles interférentes dans la même fenêtre.	50

Figure III. 17 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS, OSGO CFAR) N=32, 8 cibles interférentes, $K=3/4*N$	51
Figure III. 18 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs	52
Figure III. 19 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS, OSGO CFAR) N=32, 4 cibles interférentes, $K=7/8*N$	52
Figure III. 20 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs	53

Liste des tableaux :

Chapitre I :

Tableau I. 1 : Distribution Rayleigh exemple d'environnement gaussien et non gaussien [10].....	20
Tableau I. 2 : Distributions du clutter de mer à partir du modèle GC sans bruit.....	23
Tableau I. 3 : Distribution du clutter de mer à partir du modèle Gaussien composée.	25
Tableau I. 4 : Distribution du clutter de mer à partir du modèle Pareto généralisée.	26

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Le radar est un appareil qui transmet et reçoit des ondes électromagnétiques, utilisé pour déterminer plusieurs paramètres des objets (localisation, distance, vitesse..) Sa fonction principale est de détecter, c'est-à-dire de révéler s'il y a une cible dans l'espace de surveillance sur la base des résultats d'observation disponibles en sortie du récepteur.

Dans les premiers radars, l'encombrement, le bruit et les changements d'amplitude du signal cible peuvent tous être observés en même temps. Dans les radars modernes, la cible est automatiquement détectée. En effet, cette détection consiste à détecter l'existence d'un signal cible est déterminée lorsque le signal reçu dépasse un certain seuil. Modèle auto-statistique. Le signal reçu n'est pas disponible à priori, et la puissance du cluster est variable et inconnue, de sorte que l'utilisation d'une technique de détection à seuil fixe provoquera un grand nombre de fausses alarmes, réduisant ainsi les performances de détection. Pour cette raison, une nouvelle technologie de seuil adaptatif a été adoptée dans les années 1960 pour maintenir un taux de fausses alarmes constant ; c'est le Constant False Alarm Rate (CFAR). Ce dernier est un élément essentiel de la détection RADAR. Il permet aux systèmes de détection de définir des seuils de détection et de différencier de manière fiable les cibles d'intérêt et les bruits parasites ou le fouillis. Dans notre travail, nous proposons l'analyse de trois types CFAR (CA-CFAR, OS-CFAR et OSGO-CFA)

Notre thèse est organisée comme suit :

Dans le premier chapitre, nous exposons des définitions et des notions principales sur les systèmes radars et différents critères de décision et distributions.

Pour le deuxième chapitre nous étudions un certain nombre d'algorithmes CFAR, nouveaux et anciens en comparant leurs inconvénients et avantages.

Ensuite, nous simulons les algorithmes étudiés dans le 3ème chapitre tout en évaluant leurs fonctionnements et performances dans plusieurs conditions et différents environnements.

Enfin, Nous terminerons ce manuscrit par une conclusion générale qui résume tous les résultats obtenus.

Chapitre I :
Généralités sur les radars

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

I.1. INTRODUCTION :

Aujourd'hui, le radar est devenu un outil important pour assurer la sécurité de la navigation maritime et aérienne. La détection des signaux radar est une tâche très complexe, nécessitant un matériel spécial et une énorme puissance de traitement et de calcul du signal. Pour un système de détection donné, tous les objets détectables ne sont pas d'égale importance, et les objets d'intérêt pour un système peuvent être considérés comme désintéressés ou même gênants dans un autre système (le radar météorologique est conçu pour détecter les précipitations et constitue un obstacle pour les radars de surveillance de l'avion).

En général, le radar est un système électromagnétique conçu principalement pour détecter et localiser des objets d'intérêt ou cibles. Le nom radar provient de l'acronyme anglais (**R**adio **D**étection **A**nd **R**anging). Ce nom a été officiellement adopté par la marine nationale des Etats Unis d'Amérique en 1940. Cependant, les origines du radar sont bien antérieures à cette date. En réalité, c'est H. R. Hertz qui a ouvert la voie à l'invention du radar en 1886, en démontrant que les ondes électromagnétique sont réfléchies par les surfaces métalliques. C'est en 1900 que Nikola Tesla exprima la possibilité de détecter la présence et de mesurer le mouvement d'objet lointain à l'aide d'ondes électromagnétiques

La première expérimentation concrète est faite par Christian Hulsmeyer qui a conçue en 1904 son télémobiloscope. Celui-ci est un émetteur récepteur radiofréquence, utilisé pour la détection à distance d'objets métalliques, qu'il avait testé sur des bateaux à Cologne puis à Rotterdam atteignant des portées de l'ordre de 3 kilomètres. La véritable éclosion de cette technique se situe, cependant, entre 1930 et 1940 où des recherches et des développements ont été menés simultanément dans de nombreux pays notamment les USA, la Grande Bretagne, l'Allemagne, la France, la Russie, l'Italie, la Hollande et le Japon.

Cet équipement de détection et de localisation s'est appelé successivement détection électromagnétique (France), Radio Location (Grande-Bretagne) et enfin RADAR (non du projet secret aux Etats-Unis, vulgarisé en 1945). Le sigle **RADAR** signifie : **R**adio pour électromagnétique. **D**étection **A**nd **R**anging pour localisation.

- **Radio** : les radars fonctionnent à des fréquences comprises entre 3 MHz (ondes de surface ou par réflexion ionosphérique) et 100 GHz (courtes portées).

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

- **Détection** : des seules cibles utiles, définies par les spécifications de besoin des utilisateurs, donc avec rejet des signaux parasites après identification. Des paramètres discriminants sont déterminés pour séparer signaux utiles et parasites.

- **And** : simultanément.

- **Ranging** : localisation des cibles en quatre dimensions, Site, Gisement, Distance, Vitesse radiale.

Le **RADAR** est donc un instrument d'alerte (détection) et de mesure (localisation). Dans cette deuxième fonction, deux caractéristiques sont essentielles :

- précision, incertitude sur la valeur exacte de chaque paramètre de localisation.

- Pouvoir séparateur, ou résolution : possibilité de distinguer et de localiser séparément plusieurs cibles.

Détection et localisation doivent être obtenues dans un cadre espace-temps :

- Le volume surveillé (dans les quatre dimensions).

- La cadence à laquelle cette surveillance doit être renouvelée.

➤ **Cible** :

Au sens large du terme, une cible (target en anglais) est l'objet qui interfère avec l'onde émise et réfléchit une partie de l'énergie vers le radar. On fait la distinction entre une cible est l'objet qu'on veut détecter et le << clutter >> que représente les objets non désirées (réflexion de la mer, de la terre, pluie, oiseaux, météorites.....) qui interceptent aussi l'énergie et la renvoient. [1]

I.2. Classification des systèmes radar :

En fonction des informations qu'ils doivent fournir, les équipements radars utilisent des qualités et des technologies différentes. Ceci se traduit par une première classification des systèmes radars. [2]

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

I.2.1 Radars imageurs / Radars non imageurs :

Un radar imageur permet de présenter une image de l'objet (ou de la zone) Observé. les radars imageurs sont utilisées pour cartographier la terre, les autres planètes, les astéroïdes, etc. Ils offrent aux systèmes militaires une capacité de classification des cibles.

Des exemples typiques de radar non imageur sont les cinémomètres radars (les petits, sur le bord de la route..) et les radios altimètres. Ce type de radar est également appelé diffusomètre puisqu'il mesure les propriétés de réflexion de la région ou de l'objet observé. [3]

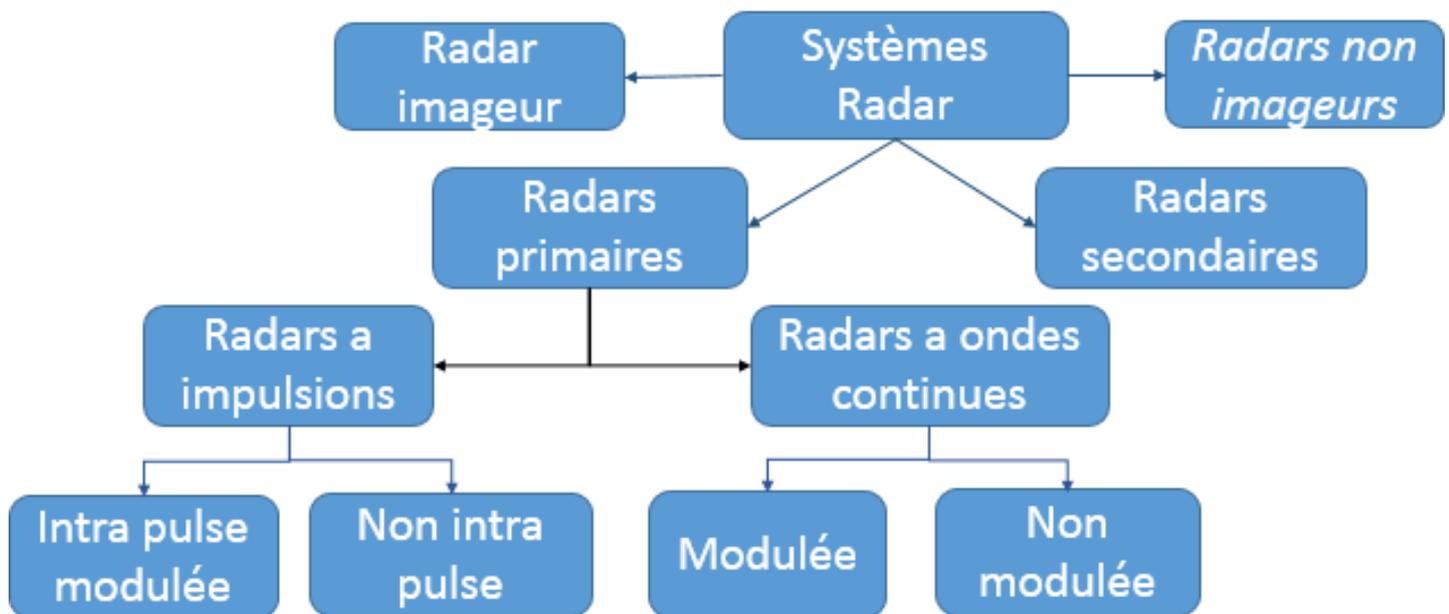


Figure I. 1 : Classification des systèmes RADAR.

I.2.2 Radars primaires :

Un radar primaire (primary surveillance radar ou PSR en anglais) émet des impulsions hyperfréquences à l'aide d'une antenne, les impulsions sont partiellement réfléchies par l'objet volant et reviennent à l'antenne. Un récepteur mesure le temps entre l'émission et le retour des impulsions. Cette durée et la direction de l'impulsion permettant de calculer la position de l'objet volant. Il existe aujourd'hui des radars primaires avec déterminations de la position en deux dimensions (2D) (distance et azimut) ou en trois dimensions (3D) (distance, azimut, altitude).

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

Les radars primaires permettant de détecter et de suivre dans l'espace aérien surveillé tous les objets qui réfléchissent suffisamment les ondes radars (y compris les phénomènes météorologiques, les vols d'oiseaux, les échos de sol, etc....). [3]

I.2.3 Radars à impulsions

Les radars à impulsions émettent des impulsions de signal hyperfréquence à forte puissance, puis il attend l'écho du signal transmis pendant un certain temps avant qu'elle ne transmette une nouvelle impulsion. Radar à impulsions est généralement utilisé lorsque cela est nécessaire pour détecter des cibles au sein d'un certain volume de l'espace et de déterminer la distance et le relèvement et dans certains cas, la vitesse de chaque cible. Le système de radar pulsé nécessitent généralement l'émission de grandes puissances et peut-être très complexe et coûteuse. [4]

I.2.4 Radars à onde continue :

Un radar à onde continue (CW) ou à ondes entretenues est un type de radar caractérisé par l'émission d'ondes en continu, modulées en fréquence ou non. Les radars à ondes entretenues émettent sans interruption un signal hyperfréquence. L'écho est donc reçu et traité continuellement. Pour empêcher l'énergie émise d'entrer directement dans le récepteur et de contaminer celle revenant de la cible, ce type de radar émet et reçoit :

- soit avec deux antennes différentes (radar bi statique).
- soit mesure l'écart de fréquence entre les deux signaux en utilisant la même antenne. Les radars à onde continue sont de deux types :

Radars à onde continue non modulée :

Le signal émis par ces équipements est constant en amplitude et en fréquence. Spécialisés dans la mesure des vitesses, les radars à onde continue non modulé ne permettent pas de mesurer les distances. Ils sont employés par exemple par la gendarmerie pour les contrôles de vitesse sur les routes (cinémomètres radars).

Radars à onde continue Modulée :

L'inconvénient des radars CW est leur incapacité à mesurer des distances, puisqu'ils ne produisent pas les impulsions servant de "tops d'horloge". La variation de la fréquence émise

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

apporte une solution à ce problème. Dans cette méthode, la variation permanente du signal émis autour d'une fréquence fixe de référence est utilisée pour détecter des cibles fixes. Lorsqu'un écho est reçu par le radar, la fréquence du signal réfléchi par la cible peut être mesurée. En se référant à l'instant où la même valeur de fréquence a été émise, il devient possible de mesurer le temps entre l'émission et la réception de cette fréquence, donc la distance radar-cible, comme pour un radar à impulsions. Comme il est généralement difficile d'émettre "proprement" des fréquences aléatoires, les radars à onde continue modulée en fréquence (FMCW) font varier progressivement la fréquence de leur signal au rythme de rampes ascendantes et descendantes.

Ce type d'équipement est souvent utilisé comme « radio-altimètre ». Le radio-altimètre est utilisé pour mesurer la hauteur exacte d'un avion durant la phase d'atterrissage.

I.2.5 Radars secondaires :

Le radar secondaire fonctionne selon un principe différent : la cible qu'il éclaire génère (de façon active) les signaux de réponse. Le radar secondaire transmet des impulsions hyperfréquences (appelées interrogations). Celles –ci n'ont pas pour but d'être réfléchies, la cible étant équipée d'un transpondeur qui la reçoit et la traite. Ensuite le transpondeur met en forme et émet un message de réponse qui peut être reçu et décodé par notre radar secondaire. Dans le cas des radars secondaires, la coopération nécessaire de la cible (utilisation d'un transpondeur) permet une très forte réduction de la puissance émise (par rapport à un radar primaire offrant une portée de détection identique).

I.3 Principe de fonctionnement :

Le principe du radar consiste à émettre une onde électromagnétique dans une direction donnée et à détecter en retour l'onde réfléchi par un obstacle à l'intérieur de son volume de couverture [5].

Le but principal du radar est bien, de révéler la présence des objets (cibles) qui ne peuvent pas être observés visuellement, en plus d'informations additionnelles comprenant; la distance par une mesure exacte du temps écoulé entre la transmission et la réception du signal en retour et la direction par l'utilisation de modes d'antennes directives. Dans les premières séries de radars, deux antennes étaient utilisées pour comparer l'intensité de l'énergie réfléchi avec celle émise et ainsi déterminé la direction de l'écho .La classification de cibles,

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

également être effectuée, par l'analyse des échos et leurs variations dans le temps. Un système radar est composé généralement d'un ensemble de sous-systèmes, représentant ainsi ses constituants majeurs, dans le but de contrôler ses capacités opérationnelles. Les principaux sous-systèmes radars sont, l'antenne, l'émetteur, le récepteur et le traitement de signal. Le récepteur prépare les échos radar pour le traitement du signal par amplification et conversion de fréquence, l'extraction des informations de cible est effectuée par le bloc de traitement du signal. Ce dernier peut être intégré avec le récepteur, mais il est usuellement considéré comme un sous-système séparé et spécialement lorsqu'il est implanté d'une façon numérique.



Figure I. 2 : Principe de l'émission du radar

I.4 Domaine de recherche dans le radar :

Dans les sections précédentes, nous avons mis en évidence la relation très étroite entre la modélisation du clutter, l'estimation des paramètres du modèle statistique du clutter et la détection des cibles en présence de clutter.

I.4.1 Modélisation :

Le premier problème considéré dans le système radar dans des milieux marins non gaussiens est la modélisation statistique du clutter de mer ; l'ensemble des échos perturbateurs qui limitent le volume de détection du radar de haute résolution. « le but est alors de proposer de nouveaux modèles statistiques composés du clutter de mer en agissant sur un choix optimal de la loi de probabilité de la composante texture considérée comme étant un processus non-Gaussien ». les performances des modèles du clutter sont évaluées à l'aide des données réelles IPIX par exemples (Intelligent Pixel X band radar) du clutter de mer. En pratique, les queues de ces modèles sont approximés pour modéliser précisément le clutter de mer. Le choix de la technique de l'estimation influe fortement sur les performances de modélisation.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

I.4.2 Estimation :

Dans la plupart des systèmes à seuil variable (détection CFAR), le seuil est calculé en estimation le niveau du bruit de fond autour de la cellule testée (« Cell Under Test »-CUT). Pour cela, on prend une série de cellules autour de celle sous test et on calcule le niveau de puissance moyen. Pour éviter que les résultats soient faussés par la puissance reçue dans la CUT, on élimine du calcul les cellules immédiatement adjacentes. On sait que le clutter est la principale source d'erreurs de détection. De plus, il a été montré que la théorie statistique de la détection radar s'appuie sur une modélisation statistique du clutter pour développer les tests de détection dont on a besoin. Ces tests sont souvent liés aux paramètres du modèle de clutter adopté. Dans des scénarios réalistes, les vraies valeurs de ces paramètres ne sont jamais connues au préalable, cependant elles doivent être remplacées par leurs estimations. Ces estimateurs doivent être donc calculés de manière optimale, ou tout du moins s'approchés de leurs valeur théoriques, pour pouvoir aider ensuite à l'optimisation des performances de détection des cibles. En pratique, lorsque ces estimateurs sont inexacts, les détecteurs basés sur ces tests peuvent subir de grandes difficultés pour pouvoir isoler le signal de la cible utile. Pour pallier ce problème, on recourt à l'usage des estimateurs plus efficaces pour lesquels les tests issus des différentes stratégies de détection sont robustes. Il est alors clair que l'estimation des paramètres d'un modèle statistique du clutter doit faire l'objet de toutes les attentions afin d'améliorer les performances des radars. En particulier, l'estimation des paramètres caractérisant un modèle statistique du clutter de mer est l'une des questions théoriques les plus importantes en télédétection et surveillance maritime.

I.4.3 Détection :

Le principe du radar consiste à émettre une onde électromagnétique dans une direction donnée et détecter en retour l'onde réfléchi par un obstacle à l'intérieur de son volume de couverture. Le but principal du radar est bien de révéler la présence des objets(cibles) qui ne peuvent pas être observés visuellement, en plus d'information additionnelles comprenant ; la distance par une mesure exacte du temps écoulé entre la transmission et la réception du signal en retour et la direction par l'utilisation de modes d'antennes directives. Dans les premières séries de radar, deux antennes étaient utilisées pour comparer l'intensité de l'énergie réfléchi avec celle émise et ainsi déterminé la direction de l'écho. La classification de cibles, également être effectuée, par l'analyse des échos et leurs variations dans le temps. Un système radar est composé généralement d'un ensemble de sous-système, représentant ainsi ses

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

constituants majeurs, dans le but de contrôler ses capacités opérationnelles. Les principaux sous-systèmes radar sont, l'antenne, l'émetteur, le récepteur et le traitement de signal [3].

Le récepteur prépare les échos radar pour le traitement du signal par amplification et conversion de fréquence, l'extraction des informations de cibles est effectuée par le bloc de traitement du signal. Ce dernier peut être intégré avec le récepteur, mais il est usuellement considéré comme un sous-système séparé et spécialement lorsqu'il est implanté d'une façon numérique. Comme ça, la détection est l'opération qui consiste à prendre une décision sur l'existence ou pas de cibles dans l'espace de recherche. Le principe de base de la détection d'une cible est basé sur l'utilisation d'un seuil de comparaison qui sert à extraire des informations du signal reçu et distingue une fluctuation due au bruit à un signal utile

- Si le signal utile plus bruit dépasse le seuil, la cible est détectée.
- Si le bruit dépasse le seuil en présence du signal écho, on dit que c'est une fausse alarme. La probabilité de fausse alarme est inversement proportionnelle au seuil de détection.

Donc si le seuil est trop élevé, les cibles peuvent ne pas être détectées, et s'il est trop bas la probabilité de fausse alarme augmente comme il est indiqué sur la figure I.3. Pour cela la détection à tau de fausse alarme constant (**CFAR**) a été considérée pour remédier cette situation

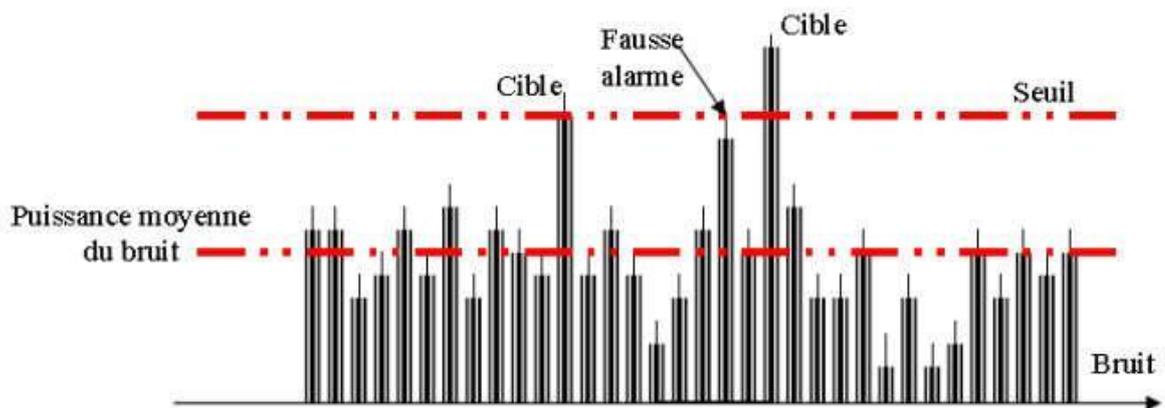


Figure I. 3 : Détection d'une cible

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

I.4.4 Poursuite de la cible :

Calcul de la distance :

La mesure de la distance à un objet est faite d'une façon à émettre une courte impulsion de signal radio, et de mesurer le temps d'aller-retour de l'onde émise. La distance est la moitié du temps de retour de l'onde (car le signal doit aller à la cible puis revenir) multipliée par la vitesse du signal (qui est proche de la vitesse de la lumière dans le vide si le milieu traversé est l'atmosphère) [6].

$$D=C.\Delta T/2 \quad (I.1)$$

D : la distance antenne- cible[m].

C : la vitesse de lumière ($C=3*10^8$ m/s)

ΔT : temps correspondant à un aller-retour de l'onde entre le radar et la cible.

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 :

- 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 (ou à un ami maladroit).

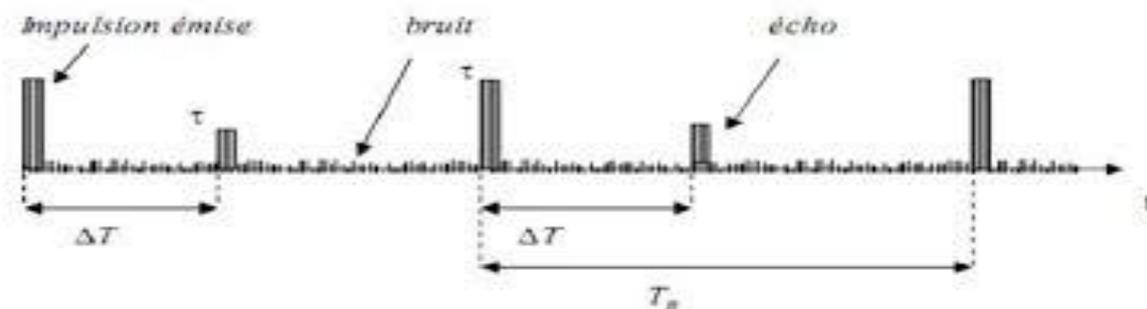


Figure I. 4 : Génération d'écho

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

T_r : Période de répétition des impulsions.

τ : Durée de l'impulsion.

ΔT : Temps correspondant à un aller-retour de l'onde entre le radar et la cible.

Calcul de la direction :

La façon qui permet de connaître la direction d'une cible est basée sur un calcul d'angle entre la direction du nord et celle de la cible (azimut). La directivité (gain directif) est la capacité de l'antenne à concentrer l'énergie rayonnée dans une direction particulière. Une antenne à forte directivité est appelée "antenne directive". En déterminant 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 (donc son altitude). 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 l'antenne est fonction de ses dimensions propres.

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

- 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).

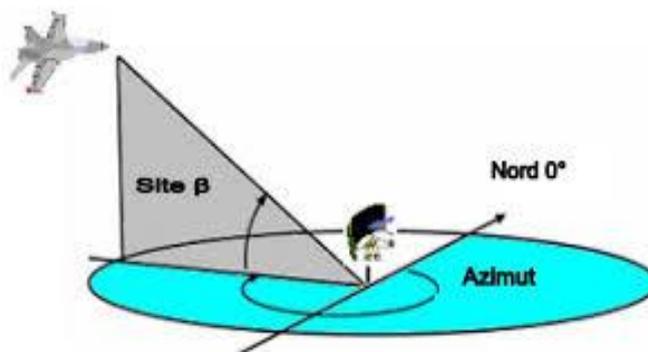


Figure I. 5 : Calcul de la direction.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

L'azimut d'une cible détectée par un radar est l'angle entre la direction du nord et celle de la ligne directe antenne cible comme il est indiqué sur la figure I.4. Cet angle se mesure dans le plan horizontal, dans le sens des aiguilles d'une montre, et à partir du nord.

Calcul de la vitesse :

Il existe différentes méthodes pour mesurer la vitesse de déplacement d'une cible. La plus ancienne consiste à noter sa position à un instant, à l'aide d'un crayon gras, sur l'affichage radar. à un autre instant, on refait la même chose et la différence des deux positions divisée par le temps écoulé entre les deux instants qui donne la vitesse de déplacement.

Calcul de la hauteur :

La hauteur d'une cible par rapport à la surface du globe terrestre s'appelle « altitude ». Elle peut être calculée en multipliant la distance oblique D de la cible par le sinus de son angle d'élévation.

I.5 Les Composantes d'un radar :

Le schéma ci-dessous I.5 illustre les différentes composantes d'un radar [4]

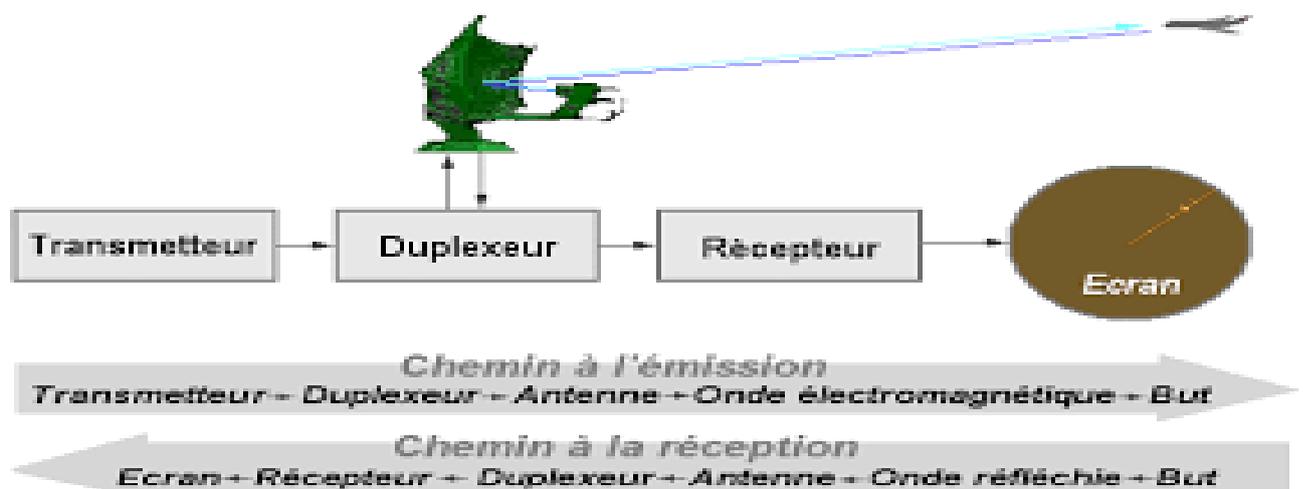


Figure I. 6 : Les composantes de radar.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

I.5.1 Le transmetteur :

Le transmetteur (L'émetteur), site du radar, est un appareil électronique qui génère une impulsion électromagnétique de la gamme des ondes radio qui sera envoyée à l'antenne pour diffusion. Il comprend un oscillateur permanent, un amplificateur et un modulateur.

• L'oscillateur permanent

Basé sur la technologie des tubes à cavité résonnante, il peut être un klystron qui a une fréquence très stable, un magnétron dont la fréquence varie dans le temps, ou d'autres types d'oscillateurs à état solide.

• 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. Il permet de stocker l'énergie pendant les périodes séparant deux émissions successives et de la restituer pendant le temps très bref de l'émission radar. Un radar émet de 500 à 3000 impulsions par seconde et chaque impulsion a une durée $\tau=0,1$ à $0,5\mu s$. L'opérateur peut varier le rythme et la durée des impulsions, en fonction de la zone à couvrir. Des impulsions plus courtes produisent une image plus nette mais demande un rythme d'émission plus rapide.

I.5.2 Le duplexeur :

Un commutateur électronique, dirige l'onde vers l'antenne lors de l'émission ou le signal de retour depuis l'antenne vers le récepteur lors de la réception quand on utilise un radar monostatique. Il permet donc d'utiliser la même antenne pour les deux fonctions [4]. Il est primordial qu'il soit bien synchronisé, puisque la puissance du signal émis est de l'ordre du mégawatt ce qui est trop important pour le récepteur qui, lui, traite des signaux d'une puissance de l'ordre de quelques nanowatts. Au cas où l'impulsion émise serait dirigée vers le récepteur, celui-ci serait instantanément détruit.

I.5.3 L'Antenne :

C'est l'élément le plus visible du radar. Son rôle est de concentrer l'énergie émise par le radar dans un angle solide déterminé. Le meilleur rendement d'une antenne radar est obtenu en la fixant à une hauteur de 3 à 6 mètres au-dessus du niveau de la mer, à l'endroit le plus

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

dégagé possible. Placée plus haut, l'antenne devient sensible aux mouvements de roulis et de tangage. Placée trop bas, ses radiations sont dangereuses pour les personnes qui s'en approchent.

L'antenne radar est dessinée de façon à concentrer l'énergie des impulsions émises en un faisceau horizontal étroit. Pour repérer les cibles, l'antenne émet sur le plan horizontal, un rayon très étroit (2 à 4°). Plus l'antenne est large, plus le faisceau est étroit. Sur le plan vertical, le rayon de balayage se situe entre 20 et 40°, et son centre est dirigé vers l'horizon de façon à tenir compte du roulis et du tangage sans perdre les cibles de vue. Les antennes radar doivent avoir une directivité élevée. La directivité d'une antenne caractérise la manière dont celle-ci concentre son rayonnement dans une certaine direction de l'espace pour envoyer un faisceau étroit étant donné que la largeur du faisceau est proportionnelle à la longueur d'onde du rayonnement et inversement proportionnelle à la largeur de l'antenne. Si le faisceau est trop grand, il y a gaspillage d'énergie.

L'antenne peut être double afin de permettre indépendamment les fonctions d'émission et de réception.

I.5.4 Le Récepteur :

Le récepteur est l'élément le plus délicat et souvent le plus complexe du radar, il reçoit les échos de retour qui ont été perçus par l'antenne. Il transforme le signal à haute fréquence du faisceau en un signal modulé de fréquence intermédiaire (FI) qui contient l'information des échos, l'amplifie et le transmet ensuite au système de traitement du circuit radar qui en retirera ensuite les cibles d'intérêt. Le récepteur idéal doit :

- Amplifier les signaux reçus sans y ajouter de bruit de fond ou Distorsion.
- Optimiser la probabilité de détection de signaux grâce à une bande passante adaptée.
- Avoir une large plage d'intensités qu'il peut traiter sans Saturation.
- Rejeter les signaux d'interférence pour optimiser l'extraction de l'information.

I.5.5 Un étage de traitement de signal :

Permettant de traiter le signal brut afin d'en extraire des données utiles à l'opérateur (détection, suivi et identification de cible; extraction de paramètres météorologiques,

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

océanographiques, etc.). Le tout est contrôlé par le système électronique du radar, programmé selon un logiciel de sondage. Les données obtenues sont alors affichées aux utilisateurs.

I.6 Modèles statistiques des cibles :

Une cible se comporte donc comme une antenne de forme complexe. Elle intercepte une part de l'énergie dans laquelle elle baigne en absorbe une certaine quantité et réfléchit le reste dans toutes les directions (de façon omnidirectionnelles).

La cible doit se situer au-dessus de l'horizon radar et doit pouvoir renvoyer un écho suffisamment puissant. La puissance d'un écho renvoyé par une cible dépend grandement de la largeur de celle-ci et de sa hauteur au-dessus de l'horizon radar. Ces facteurs ne sont cependant pas suffisants. En effet, une petite cible très réfléchissante peut fort bien renvoyer un écho supérieur à celui d'une cible plus importante mais dont le pouvoir de réflexion est faible. Dans la théorie de la décision statistique, une cible peut être caractérisée par un signal écho dont l'amplitude ou le SER est inconnu et non fluctuant, aléatoire et suivant une loi Rayleigh ou alors aléatoire [7,4].

I.6.1 Les modèles de fluctuations :

Le terme fluctuation, dans les systèmes radar, appliqué aux échos radar décrit les changements de la surface équivalente radar (**SER**) des cibles complexes et les effets d'irrégularités dans l'indice réfractif atmosphérique (fluctuations de l'angle d'arrivée). En premier lieu, ces variations apparaissent en des changements de l'aspect de la cible vis-à-vis du radar et ils en résultent des variations dans les échos radar additionnés à ceux causés par les conditions météorologiques, l'instabilité des équipements et autres. Pour représenter clairement ces fluctuations, les propriétés de la fonction densité de probabilité et de la corrélation en fonction du temps doivent être connues pour une cible et une trajectoire particulière. Dans le cas idéal, ces caractéristiques doivent être mesurées pour une cible, mais ceci est souvent impraticable. Il existe deux façons d'obtenir des informations sur les propriétés statistiques des fluctuations de la **SER**; La première est d'obtenir les données expérimentales du comportement des cibles dans différentes situations dynamiques et la seconde est d'introduire quelques modèles analytiques théoriques qui peuvent décrire ce comportement d'une manière satisfaisante. Deux types de fluctuations sont considérés : Cible

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

lentement fluctuante ou fluctuante d'un balayage à un autre (scan to scan target) et cible rapidement fluctuante ou fluctuante d'une impulsion à une autre (pulse to pulse target) [8].

- **Cible lentement fluctuante :**

L'écho de cible ne change pas pendant l'émission des impulsions. Par conséquent, les échantillons reçus sont les mêmes pour toutes les impulsions; il s'agit d'une seule réalisation d'une même variable aléatoire.

- **Cible rapidement fluctuante :**

L'écho change de valeur d'une impulsion à l'autre. Donc les échantillons reçus sont des réalisations différentes de la même variable aléatoire.

I.6.2 Modèles de swerling :

Généralement, les modèles de Swerling sont les modèles les plus utilisés pour représenter les fluctuations des cibles. Swerling a observé et classifié les cibles selon les fluctuations en cinq modèles statistiques appelés Swerling 0 ou V (modèle non-fluctuant), Swerling I, II, III et IV (modèles fluctuants).

Swerling I (SWI) :

Dans ce cas, la puissance du signal retournée par impulsion sur n'importe quel scan est supposée être constante, mais ces échos d'impulsions sont indépendantes (non-corrélés) d'un scan à un autre (scan-to-scan)



Figure I. 7 : Modèle de fluctuation Swerling I

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

Swerling II (SWII) :

Ici, les fluctuations sont plus rapides que dans le cas 1, et sont supposées être indépendantes d'une impulsion à une autre (pulse-to-pulse).

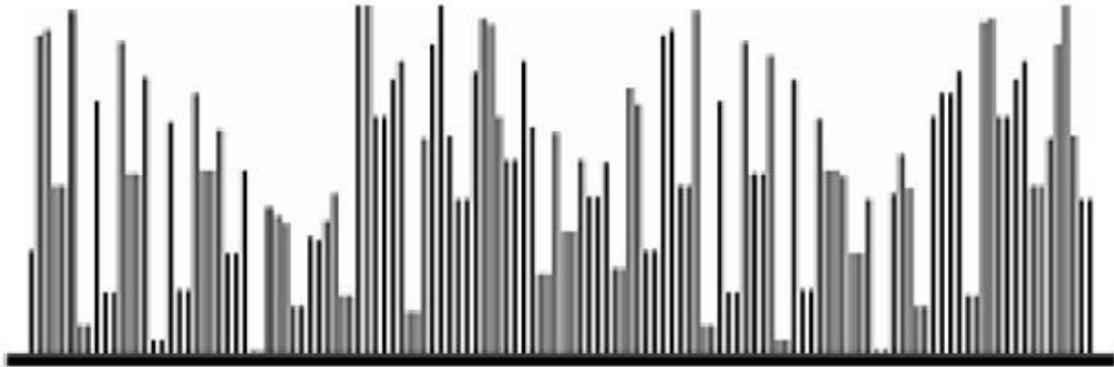


Figure I. 8 : Modèle de fluctuation Swerling II

Swerling III (SWIII) :

Les fluctuations sont indépendantes d'un scan à un scan comme pour le premier cas(scan-to-scan).



Figure I. 9 : Modèle de fluctuation Swerling III.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

Swerling IV(SWIV) :

Comme pour le second cas, les fluctuations ici sont (pulse to pulse) et les cibles possèdent des fluctuations rapides avec des amplitudes indépendantes d'une impulsion à une autre.

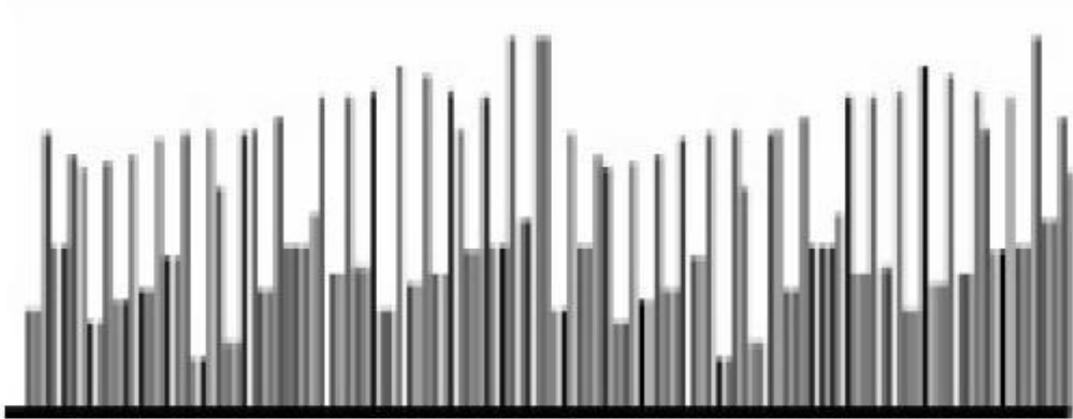


Figure I. 10 : Modèle de fluctuation de Swerling IV.

Dans le cas 1 et 2 on suppose que les cibles se composent de plusieurs réflecteurs élémentaires indépendants. En théorie, ce nombre tend vers l'infinie. Ce modèle est utilisé pour représenter les fluctuations des échos d'avions et la réflexion sur la plupart des terrains. Par contre les densités de probabilité des cas 3 et 4 sont utilisées pour modéliser des cibles composées d'un réflecteur dominant constant et des petits réflecteurs indépendants à cette situation.

Les cibles non fluctuées sont présentées pour le cas Swerling V ou Swerling 0. Dans ce type de cibles, l'amplitude du signal reçus est supposée inconnue, il n'y a aucune fluctuation d'amplitude [9].

I.7 Les Clutter et leur modélisation :

Le fouillis(clutter) radar est un terme qui se réfère à tous les objets qui causent les reflets indésirables de l'énergie électromagnétique d'un radar à retourner vers le récepteur radar. Les réflexions non désirés provoquent un effet d'écrans sur les l'alertes d'intérêt, ce qui rend la détection de cibles plus difficile.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

Le fouillis est constitué soit d'échos atmosphériques soit d'échos situés à la surface de notre planète. Il s'avère particulièrement indispensable de connaître la distribution du fouillis pour établir le seuil de détection. Cette distribution dépend de la nature du fouillis ainsi que la résolution du RADAR. Nous distinguons généralement deux types de fouillis : le fouillis de surface et le fouillis de volume. Le fouillis de surface est celui qui provient des échos de la mer et de la terre alors que le clutter de volume est dû aux phénomènes atmosphériques.

I.7.1 Modélisation statistique :

La modélisation du clutter dépend de l'application radar en question. En effet, dans les radars à basse résolution, la largeur d'impulsion est supérieure à $0.5\mu\text{s}$. Si en plus la détection est faite à des angles d'incidence supérieurs à 5 degrés, l'encombrement de la surface peut être modélisé par une Distribution gaussienne de la moyenne nulle et de la variance constante (fouillis uniforme).

D'autre part, dans certains environnements, l'utilisation d'un radar à haute résolution s'avère être une bonne idée.

Indubitable (largeur d'impulsion inférieure à $0.5\mu\text{s}$) Pour ce cas, les données expérimentales correspondant à ce type de clutter ont montré qu'elles obéissent à une distribution présentant une queue plus étalée ou lourde que celle de la Gaussienne. De ce fait, pour détecter des cibles dans ce type de clutter, il est nécessaire de modéliser l'environnement par des distributions non-Gaussiennes. Dans la littérature radar, les modèles statistiques pouvant se substituer à l'absence d'un clutter Gaussien sont les distributions Weibull, log-normal et K. Pour ce faire, la table I.1 résume quelques cas de clutter non-Gaussien.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

Tableau I. 1 : Distribution Rayleigh exemple d'environnement gaussien et non gaussien [10]

Type de Radar	Largeur d'impulsion τ (μ s)	Terre ou mer	Bande de fréquence	Angle d'incidence (degrés)	Modélisation du clutter
Basse résolution	2	Montagnes Rocheuses	S	≥ 5 < 5	Gaussienne Weibull
Basse résolution	3	Collines Boisées	L	0.5°	Log-normal et Weibull
Haute résolution	0.17	Forêt	X	0.7°	Log-normal et Weibull
Haute résolution	0.17	Terre cultivée	X	$0.7^\circ-0.5^\circ$	Log-normal et Weibull
Haute résolution	0.2	Mer : Etat 1	X	4.7°	Log-normal et Weibull et K
Haute résolution	0.1	Mer : Etat 2	Kv (12-18GHz)	$1.0^\circ-30.0^\circ$	Log-normal et Weibull et K

Ce modèle considère que le signal réfléchi est la somme d'un grand nombre de signaux provenant de réflecteurs élémentaires constituant la surface de la cible, ce modèle est le plus utilisé pour représenter la plupart des clutter. Le signal réfléchi suit une loi de probabilité de Rayleigh après le passage par un détecteur quadratique dont l'amplitude de la densité de probabilité de X s'écrit :

$$f_x(x) = \frac{x}{b} \exp\left(-\frac{x^2}{2b}\right), \quad x > 0 \quad (I.2)$$

Distribution Gaussienne (Normal) :

La distribution normal, souvent appelée distribution Gaussienne, est une famille importante de distributions de probabilité de variables aléatoires continues. La distribution normale est donnée comme suit:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp - \frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2, \quad x > 0 \quad (I.3)$$

Le μ est la moyenne ou les attentes (emplacement de la crête) et σ^2 est la variance. Sigma est connu sous le nom d'écart-type.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

a- Distribution log-normal :

La distribution log-normal a été développée dans le but d'être appliquée dans une grande variété de situations réelles de clutter de mer et de terre à faible angle d'incidence et dans les radars à haute résolution. C'est une loi de distribution dont le logarithme est normalement distribué.

La distribution log-normal est donnée comme suit:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma x}} \exp\left[-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (I.4)$$

Où μ est la moyenne de $\ln(x)$ dont la variance est σ^2

b- Distribution Weibull :

Le modèle de Weibull est le modèle le plus proche des données réelles, ce qui convient à modéliser le clutter de mer. La densité de probabilité d'une variable aléatoire X est donnée par:

$$f_x(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^c\right] \quad (I.5)$$

$X > 0, c > 0, b > 0$

b: paramètre d'échelle.

c: paramètre de forme.

c- Distribution K :

Ce modèle est capable de modéliser aussi bien le clutter de sol que le clutter de mer. La variable aléatoire X a une fonction densité de probabilité définie par:

$$f_x(x) = \frac{4}{b\Gamma(c)} \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} K_{c-1}\left(\frac{2x}{b}\right), x > 0 \quad (I.6)$$

b : paramètre d'échelle. C : paramètre de forme.

Γ : fonction gamma.

$K_c(\cdot)$: la fonction de Bessel modifiée.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

I.8 Distribution statistiques des échos radar :

La modélisation du clutter dépend de l'application radar en question. En effet, dans les radars à basse résolution, la largeur d'impulsion est supérieure à 0.5us. Si de plus la détection se fait à des angles d'incidence supérieure à 5 degrés, le clutter de surface peut être modélisé par une distribution Gaussienne de moyenne nulle et de variance constante (clutter uniforme).

En revanche, dans certains environnements, l'utilisation d'un radar de haute résolution s'avère indubitable (largeur d'impulsion inférieure à 5us). Pour ce cas, les données expérimentales correspondant à ce type de clutter ont montré qu'elles obéissent à une distribution présentant une queue plus étalée ou lourde que celle de la Gaussiennes.

De ce fait, pour détecter des cibles dans ce type de clutter, il est nécessaire de modéliser l'environnement par des distributions non-Gaussiennes.

Dans la littérature radar, les modèles statistiques pouvant se substituer à l'absence d'un clutter Gaussien sont les distributions Weibull, log-normal, K, Pareto.

Pour se faire, les sections suivantes résument des distributions non-Gaussiennes du clutter de mer ou du sol.

I.8.1 Modèle composé généralisé (GC) :

Dans le but de bien caractériser le clutter de mer de haute résolution et de regrouper un ensemble de plusieurs modèles statistiques telles que les distributions Rayleigh, Weibull, Log-normal, K, K généralisée (GK), gamma généralisée (Gr), gamma, etc.

Le modèle GC a été proposé et validé utilisant différentes bases de données radar de haute résolution [11]. Dans ce cas, la composante speckle ($p(x/y)$) et la composante texture ($p(y)$) suivent les lois de Gr suivantes :

$$p(x/y) = \frac{b_1}{y\Gamma(v_1)} \left(\frac{x}{y}\right)^{b_1 v_1 - 1} e^{-\left(\frac{x}{y}\right)^{b_1}} \quad (I.7)$$

$$p(y) = \frac{b_2}{y\Gamma(v_2)} \left(\frac{y}{a}\right)^{b_2 v_2 - 1} e^{-\left(\frac{y}{a}\right)^{b_2}}$$

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

où a est le paramètre d'échelle, $v(1,2)$ sont les paramètres de forme et $b(1,2)$ sont les paramètres de puissance. Dans l'absence du bruit thermique, la pdf totale de X est obtenue à partir de (I.7) comme

$$p(x) = \int_0^\infty p\left(\frac{x}{y}\right) p(y) dy = \frac{b_1 b_2}{\Gamma(v_1)\Gamma(v_2)} \frac{x^{b_1 v_1 - 1}}{a^{b_2 v_2 - 1}} \int_0^\infty y^{b_2 v_2 - b_1 v_1 - 1} \exp\left(-\left(\frac{x}{y}\right)^{b_1} - \left(\frac{y}{a}\right)^{b_2}\right) dy \quad (I.8)$$

L'expression des moments pour ce modèle est donnée par :

$$\langle x^k \rangle = \int_0^{+\infty} x^k p(x) dx = a^k \frac{\Gamma(k/b_1 + v_1) \Gamma(k/b_2 + v_2)}{\Gamma(v_1)\Gamma(v_2)} \quad (I.9)$$

Si le bruit thermique n'est pas ignoré, la pdf de la composante speckle a un 3^{ème} paramètre $2\sigma^2$ qui représente la puissance inconnue du bruit.

$$p(x/y) = \frac{b_1}{\sqrt{y^2 + 2\sigma^2} \Gamma(v_1)} \left[\frac{x}{\sqrt{y^2 + 2\sigma^2}} \right]^{b_1 v_1 - 1} \exp\left[- \left[\frac{x}{\sqrt{y^2 + 2\sigma^2}} \right]^{b_1} \right] \quad (I.10)$$

A partir des valeurs particulières des paramètres de l'équation (I.8), on peut inspirer plusieurs modèles du clutter comme montré la table I.2 [11].

Tableau I. 2 : Distributions du clutter de mer à partir du modèle GC sans bruit

Modèle	Paramètres	speckle	texture
GC	$V_1, v_2, b_1, b_2, \text{ et } a$	Gamma généralisée	Gamma généralisée
GK (K généralisée)	$V_1, v_2, b_1=b_2=b \text{ et } a$	Gamma généralisée	Gamma généralisée
K	$V_1=1, v_2=v, b_1=b_2=b=2 \text{ et } a$	Rayleigh	Gamma
WG (Weibull speckle gamma mean)	$V_1=1, v_2=v, b_1=b, b_2=2 \text{ et } a$	Weibull	Gamma
Weibull	$V_1=1, v_2=1/2, b_1=b_2=b \text{ et } a$	Weibull	Gamma généralisée
Rayleigh	$V_1=1, v_2=1/2, b_1=b_2=b=2 \text{ et } a$	Rayleigh	-
Exponentielle	$V_1=1, v_2=1/2, b_1=b_2=b=1 \text{ et } a$	Exponentielle	-
HG (Hypergeometric gamma)	$V_1, v_2, b_1, b_2 \text{ et } a$ où b_1 et b_2 sont des entiers	Gamma généralisée	Gamma généralisée

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

La distribution log-normal est obtenue à partir du modèle log gamma généralisé par :

$$v \rightarrow +\infty$$

$$p(x) = \frac{b}{a\Gamma(v)} \left(\frac{x}{a}\right)^{bv-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{a}\right)^b\right] \quad (\text{I.11})$$

I.8.2 Modèle gaussien composé (CG) sans bruit :

Le phénomène du clutter de mer est fortement lié par un certain nombre de paramètres tels que l'agitation de la mer. L'angle de dépression, la fréquence de propagation et la polarisation de

L'antenne radar. Au moyen des études pratiques, il a été montré que ces conditions de fonctionnement ont une relation directe avec la fluctuation aléatoire de la puissance du clutter. Pour cette raison, il y a deux lois pour caractériser le clutter de mer ; le modèle de puissance du clutter et le modèle de l'écho radar en question.

La table I.3 résume quatre distributions Gaussiennes composées les plus adaptées aux données réelles du radar de haute résolution.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

Tableau I. 3 : Distribution du clutter de mer à partir du modèle Gaussien composée.

Modèle	Speckle/Texture	Pdf et le moment d'ordre K
K	Rayleigh/gamma $p_x(x/y) = \frac{2x}{y^2} \exp\left(-\frac{x^2}{y^2}\right)$ $p_y(y) = \frac{b}{a\Gamma(v)} \left(\frac{y}{a}\right)^{2v-1} \exp\left(-\frac{y^2}{a^2}\right)$	$p_x(x) = \frac{4}{a\Gamma(v)} \left(\frac{x}{a}\right)^v K_{v-1}\left(-2\frac{x}{a}\right)$ $\{x^k\} = a^k \frac{\Gamma(k/2 + 1)\Gamma(k/2 + v)}{\Gamma(v)}$
Pareto type 2	Exponentielle/gamma inverse $p(x/y) = \frac{1}{y} \exp\left(-\frac{x}{y}\right)$ $p(y) = \frac{b^a y^{-a-1}}{\Gamma(a)} \exp\left(-\frac{b}{y}\right)$	$p(x) = \frac{ab^a}{(x+b)^{a+1}}$ $\{x^k\} = \frac{b^k \Gamma(k+1)\Gamma(a-k)}{\Gamma(a)}$
CGIG	Exponentielle/Gaussienne inverse $p(x/y) = \frac{1}{y} \exp(-x/y)$ $p(y) = \frac{\lambda^{1/2}}{\sqrt{2\pi y^{3/2}}} \exp\left(-\lambda \frac{(y-\mu)^2}{2\mu^2 y}\right)$	$p(x) = \left\{ \frac{\sqrt{\lambda}}{(\lambda + 2x)^{3/2}} + \frac{\lambda}{\mu(\lambda + 2x)} \right\} \exp\left\{ \frac{\lambda}{\mu} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{2x}{\lambda}} \right) \right\}$ $\{x^k\} = \Gamma(1+k) \sqrt{\frac{2\lambda}{\pi\mu}} \mu^k e^{\lambda/\mu} K_{k-\frac{1}{2}}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)$
CG-LNT	Rayleigh/log-normal $p(x/y) = \frac{1}{y} \exp\left(-\frac{x}{y}\right)$ $p(y) = \frac{\lambda^{1/2}}{\sqrt{2\pi y^{3/2}}} \exp\left(-\lambda \frac{(y-\mu)^2}{2\mu^2 y}\right)$	$p(x) = \frac{x}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \int_0^{+\infty} \frac{2}{y^2} \exp\left(-\frac{(\ln(y/\sigma^2))^2}{2\sigma^2} - \frac{x^2}{y}\right) dy$ $\{x^n\} = \delta^{n/2} \Gamma\left(1 + \frac{n}{2}\right) \exp\left[\frac{1}{2}\left(\frac{n\sigma}{2}\right)^2\right]$

I.8.3 Modèle de pareto généralisé (GP) sans bruit :

A partir du modèle pareto généralisé, il est aussi possible de stimuler des distributions du clutter de mer avec une queue lourde (heavy-tailed distribution). La table I.4 donne quatre cas particuliers de la distribution GP.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

Tableau I. 4 : Distribution du clutter de mer à partir du modèle Pareto généralisée.

Modèle	paramètres	Pdf, p(x)
Pareto généralisée	K, σ et θ	$(1/\sigma)(1+k\frac{x-\theta}{\sigma})^{-1-1/k}$ $, x > \theta$
Pareto type 2	$K=1/\alpha$, $\sigma = k\beta$ et $\theta = 0$	$\frac{\alpha\beta^\alpha}{(x+\beta)^{\alpha+1}}$, $x > 0$
Pareto type 1	$K > 0$ et $\theta = \sigma/k$	$\frac{\alpha\beta^\alpha}{x^{\alpha+1}}$, $x \geq \beta$
Exponentielle décalée	$K=0$, σ et θ	$(1/\sigma)e^{-\frac{(x-\theta)}{\sigma}}$, $x > 0$
Exponentielle	$K=0$, σ et $\theta=0$	$\frac{1}{\sigma}e^{-\frac{x}{\sigma}}$, $x > 0$

I.9 Détection automatique des cibles :

Dans cette section, nous présentons les principales bases de la théorie de la décision ainsi que son application dans la détection automatique des cibles dans les systèmes radars. [12].

I.9.1 Critères de décision:

Dans un système de détection radar, le problème revient à traiter le signal reçu pour prendre une des deux décisions suivantes : présence ou absence de cible. Pour cela, le détecteur génère deux sorties possibles appelées hypothèses :

L'hypothèse nulle H_0 , représentée parfois par 0, qui correspond à une absence de cible.

L'hypothèse alternative H_1 , représentée par 1, qui correspond à une présence de cible.

Chaque hypothèse correspond à une ou plusieurs observations qui sont représentées par des variables aléatoires qui vont servir à la prise de décision. Nous supposons que le récepteur prend une décision sur une observation du signal reçu Y . L'ensemble des valeurs que prend la variable aléatoire Y est appelé espace d'observation Z . [13].

Cet espace est divisé en deux régions Z_0 et Z_1 telle que si Y est dans Z_1 , le récepteur décide H_1 . Si Y est dans Z_0 , le récepteur décide H_0 . Les fonctions densité de probabilité de Y correspondant chacune des hypothèses sont f_Y / H_0 (y/H_0) et f_Y / H_1 (y/H_1) où y est une

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

valeur particulière de Y . Chaque fois qu'une décision est prise, basée sur un critère de décision, quatre cas sont alors possibles :

- Décider H_0 quand H_0 est vraie,
- Décider H_0 quand H_1 est vraie,
- Décider H_1 quand H_1 est vraie,
- Décider H_1 quand H_0 est vraie.

Dans le premier et le troisième cas, le récepteur prend la bonne décision alors que pour les deux autres cas il prend la mauvaise décision. Dans la nomenclature du radar, le deuxième cas est appelé non détection (Miss), pour le dernier cas on parle de fausse alarme et pour le troisième on parle de détection.

Dans la section suivante, nous présentons quelques principaux critères de décision qui sont utilisés dans la théorie de la décision ainsi que les conditions dans lesquelles ils sont utilisés.

I.9.2 Critère de Bayes :

L'utilisation du critère de Bayes nécessite principalement deux hypothèses :

- La connaissance à priori des probabilités d'évènement des deux sorties de la source qui sont appelées les probabilités à priori $P(H_0)$ et $P(H_1)$.
- Chaque décision possible doit avoir un coût.

Les conséquences d'une décision sont différentes de celles d'une autre décision. Par exemple dans le problème de la détection radar, les conséquences d'une non détection ne sont pas les mêmes que les conséquences d'une fausse alarme. Si nous notons par D_i , $i = 0, 1$ les décisions qui correspondent respectivement aux hypothèses H_0 et H_1 , nous pouvons définir C_{ij} , $i, j = 0, 1$, le coût associé à la décision D_i sachant que l'hypothèse H_j est vraie ($D_i . H_j$). A titre d'exemple, le coût C_{01} correspond au cas où la décision est H_0 quand H_1 est vraie, etc...

Le but du critère de Bayes est de déterminer la règle de décision qui minimise le coût moyen $E(C)$ connu aussi sous le nom de risque.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

$$R_j = \sum_{i=0}^1 c_{ij} p\left(\frac{D_i}{H_j}\right) \quad (\text{I.12})$$

Le risque moyen R_{moy} est obtenu en prenant la moyenne des risques conditionnels sur toutes les hypothèses possibles.

$$R_{\text{moy}} = \sum_{j=0}^1 R_j p\left(\frac{D_i}{H_j}\right) \quad (\text{I.13})$$

$$= \sum_{j=0}^1 \sum_{i=0}^1 c_{ij} p\left(\frac{D_i}{H_j}\right) p(H_j) \quad (\text{I.14})$$

$$= p\left(\frac{D_0}{H_0}\right) p(H_0) C_{00} + p\left(\frac{D_1}{H_0}\right) p(H_0) C_{10} + \\ p\left(\frac{D_0}{H_1}\right) p(H_1) C_{01} + p\left(\frac{D_1}{H_1}\right) p(H_1) C_{11} \quad (\text{I.15})$$

Puisque

$$p\left(\frac{D_0}{H_0}\right) + p\left(\frac{D_1}{H_0}\right) = \\ \int_{z_0} P_{Q/H_0}(q) dq + \int_{z_1} P_{Q/H_0}(q) dq = 1 \quad (\text{I.16})$$

$$\text{Et } p\left(\frac{D_0}{H_1}\right) + p\left(\frac{D_1}{H_1}\right) = \int_{z_0} P_{Q/H_1}(q) dq + \int_{z_1} P_{Q/H_1}(q) dq = 1 \quad (\text{I.17})$$

Nous aurons alors :

$$R_{\text{moy}} = C_{10}P(H_0) + C_{11}P(H_1) + \int_{z_0} [P(H_1)(C_{10} - C_{11})P_{Q/H_1}(q) - P(H_0)(C_{10} - \\ C_{00})P_{Q/H_0}(q)]dq \quad (\text{I.18})$$

La règle de Bayes consiste à minimiser le risque moyen donné par la relation (I.18). Les deux premiers termes représentent le risque fixe et l'intégrale représente le risque contrôlé par les points attribués à la région z_0 . Comme les coûts des décisions erronées sont plus élevés

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

que ceux des décisions correctes, et que toutes les probabilités sont positives, nous pourrions minimiser le risque moyen que lorsque z_0 sera choisi de façon que l'intégrale soit négative en tout point de z_0 , d'où la règle de Bayes :

$$\Lambda(q) = \frac{P_{Q/H_1}(q)}{P_{Q/H_0}(q)} (H_0 \leq H_1) \frac{P(H_0)(C_{10}-C_{00})}{P(H_1)(C_{01}-C_{11})} \quad (I.19)$$

$\Lambda(q)$ est appelé le rapport de vraisemblance.

I.9.3 Critère du minimax :

Dans la plupart des cas pratiques, les probabilités à priori, $P(H_i)$, $i = 0, 1$, ne sont pas connues et le critère d'optimisation de la décision est basé sur les risques conditionnels R_j , $j = 0, 1$, exprimé par l'équation (I.14). La règle de décision optimale est celle dont la valeur maximale des risques conditionnels est minimale par rapport à d'autres règles. Cette règle de décision est connue sous le nom de "stratégie du minimax". La règle du minimax est un cas particulier de la règle de Bayes pour la plus défavorable distribution à priori des hypothèses, $P(H_i)$, $i = 0, 1$, pour laquelle le risque de Bayes a la plus grande valeur.

I.9.4 Critère de Neyman-Pearson :

Dans la détection radar, et en l'absence d'information sur les probabilités à priori et les coûts, le critère le plus employé est celui de Neyman-Pearson. Il consiste à rendre minimale (maximale) la probabilité de non détection (détection), $P_m(P_d)$, sachant que la probabilité de fausse alarme, P_{fa} , est fixée à une valeur α_1 . Pour cela nous construisons la fonction objective suivante :

$$J(\lambda) = p_m + \lambda(p_{fa} - \alpha_1) \quad (I.20)$$

Où λ est le multiplicateur de Lagrange. D'après les équations (I.17) et (I.18), nous pouvons écrire :

$$J(\lambda) = \lambda(1 - \alpha_1) + \int_{z_0} \left[P_{Q/H_1}(q) - \lambda P_{Q/H_0}(q) \right] dq \quad (I.21)$$

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RADARS

$J(\lambda)$ sera minimal si z_0 est choisi de telle façon que l'intégrale est négative, ce qui donne la règle de décision :

$$\Lambda(q) = \frac{P_{Q/H_1}(q)}{P_{Q/H_0}(q)} H_0 \leq H_1 \lambda \quad (\text{I.22})$$

Avec λ choisi pour satisfaire une probabilité de fausse alarme α_1 , donc :

$$\int_{\lambda}^{+\infty} P_{\Lambda/H_0}(q) dq = \alpha_1 \quad (\text{I.23})$$

Où $P_{\Lambda/H_0}(q)$ est la densité de probabilité conditionnelle du rapport de vraisemblance.

Chapitre II :

*Analyse des détecteurs ca , os et
osgo cfar*

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre on va s'intéresser à la méthode CFAR (constant false alarm rate), qui a pour objectif de fixer des seuils suffisamment élevés pour limiter les fausses alarmes à un taux tolérable, mais suffisamment bas pour permettre la détection de la cible.

Le signal du retour radar peut comporter du bruit, d'encombrement, et s'il y en a, de cibles. Un élément clé du traitement RADAR est la définition de seuils de détection. Ces seuils font la différence entre les cibles d'intérêt et les échos radar non désirés.

En tant qu'environnement d'exploitation et les conditions changent, la quantité et la nature du bruit et de l'encombrement changent également. Pour une détection précise et fiable, le seuil doit s'auto-ajuster de façon dynamique et intelligente.

Un algorithme adaptatif a été développé pour isoler le signal de retour de la cible des bruits de fond évidents,, de brouillage et d'interférences ; il s'agit de la détection de fausses alarmes à débit constant (CFAR) [16].

II.2 Le principe du CFAR :

Le CFAR, taux de fausses alarmes constant, représente une technique clé pour fixer de manière adaptative le seuil de détection des cibles [14]. En utilisant une fenêtre mobile, à travers des bacs de données, les algorithmes CFAR examinent les quartiers de retour de puissance dans l'estimation de la moyenne du bruit ou de l'encombrement. En mettant à l'échelle la moyenne estimée avec un multiplicateur pré-calculé, le seuil est fixé de manière à limiter les fausses alarmes à un taux souhaité.

C'est une méthode de traitement du signal radar qui se repose principalement sur le fait que les échos dus aux parasites sont beaucoup plus nombreux que ceux dus à la cible. Le gain du récepteur est automatiquement ajusté afin de maintenir un niveau constant des échos parasites visibles, alors que les cibles ayant un retour plus faibles se perdent dans le bruit.

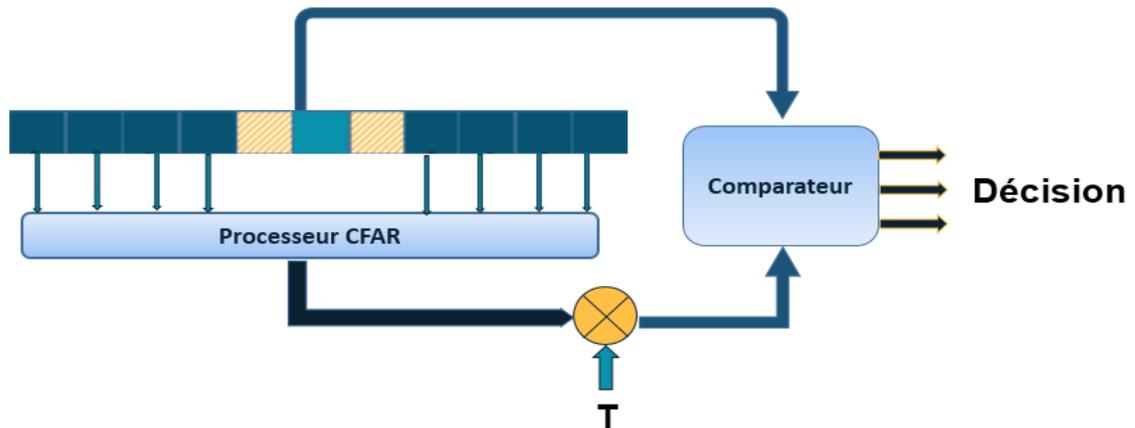


Figure II. 1 : Principe CFAR

II.3 Probabilité de fausse alarme :

La PFA (Probability of False Alarm) est la possibilité que l'algorithme CFAR prend les pics du bruit ou du clutter pour une cible.

Comme les d'amplitudes du bruit et du fouillis varient des valeurs très proches de zéro à des valeurs qui s'étendent vers l'infini. Quelle que soit la hauteur des seuils fixés, il y aura toujours la possibilité que ces valeurs soient supérieures à ce seuil. Et pour cela , l'objectif des algorithmes CFAR n'est pas d'éliminer a 100% les fausses alarmes (car c'est impossible), mais d'estimer le bruit moyen, et de le mettre à l'échelle par un multiplicateur pour obtenir le seuil fixé suffisamment élevé pour limiter le taux de fausses alarmes à un taux tolérablement faible.

Dans de nombreux environnements d'exploitation, la forme du bruit/encombrement est connue d'avance. Grâce à des calculs hors ligne ou à l'expérience de l'ingénierie, la fonction de densité de probabilité (PDF) du bruit peut être connue à l'avance. Par exemple, le fouillis terrestre est souvent caractérisé par la distribution de Weibull et les nuages par la distribution gaussienne

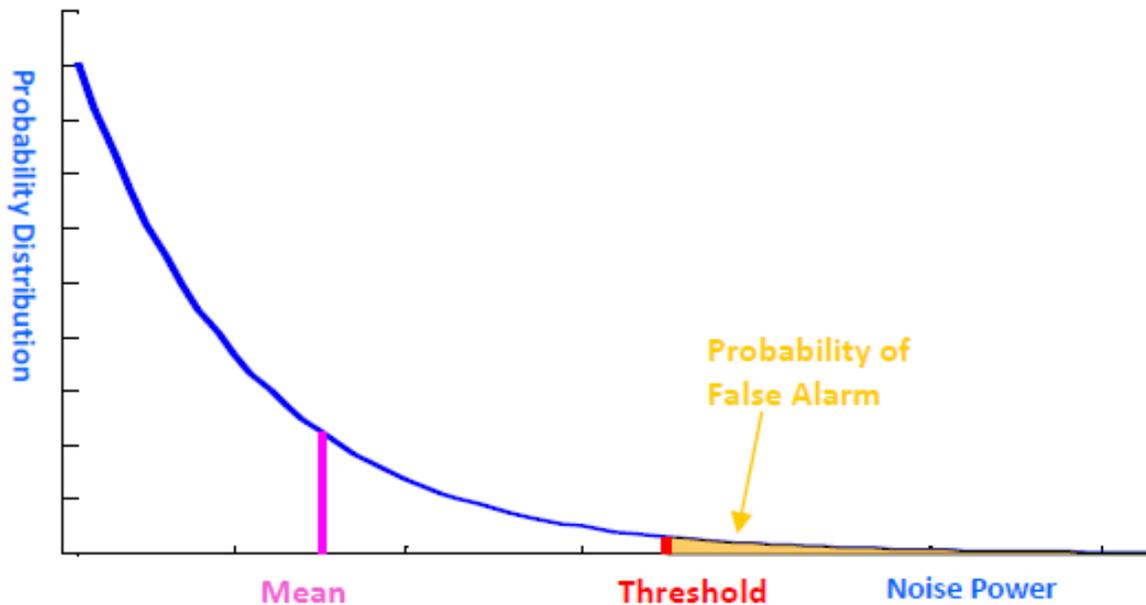


Figure II. 2 : La fonction de densité de probabilité

Pour obtenir le seuil, la moyenne est mise à l'échelle par un multiplicateur de seuil.

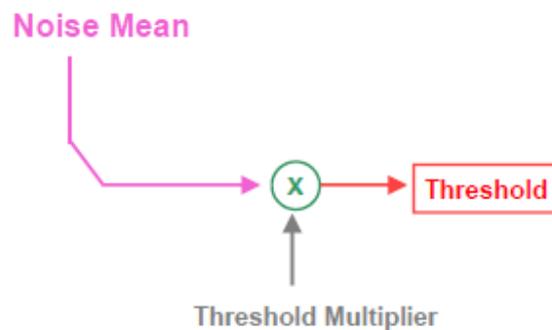


Figure II. 3 : Seuillage

II.4 CFAR WINDOW :

Pour estimer le bruit / fouillis moyen présent dans une case de plage spécifique, on utilise plusieurs autres bacs locaux. Et pour cela, la plupart des algorithmes CFAR utilisent une fenêtre mobile.

➤ La fenêtre CFAR comporte plusieurs composants : (Figure II.4).

- La cellule sous test (CUT) - également appelée cellule de test - est le casier de plage avec lequel le bruit / clutter moyen est estimé et avec lequel le seuil est défini.

- Les cellules de référence sont utilisées pour estimer la moyenne, (cellules locales à la CUT). Différents algorithmes CFAR utilisent différentes évaluations mathématiques et

CHAPITRE II :Analyse des détecteurs CA , OS et OSGO CFAR

différentes décisions logiques à fin de calculer de la moyenne des cellules CFAR, par exemple, le CA-CFAR prend la moyenne des cellules de référence tandis que le OS-CFAR classe les cellules de référence de la plus petite à la plus grande pour prendre la kième plus grande comme représentative du bruit moyen.

- Les cellules de garde sont facultatives et peuvent être de longueur variable. Si une cible est présente dans la CUT, elle peut chevaucher consécutivement; et cela conduirait à des estimations inexactes du bruit. Les cellules de garde alors, nous permet d'éviter cela.

En règle générale, une cellule de garde est utilisée de chaque côté de la CUT.

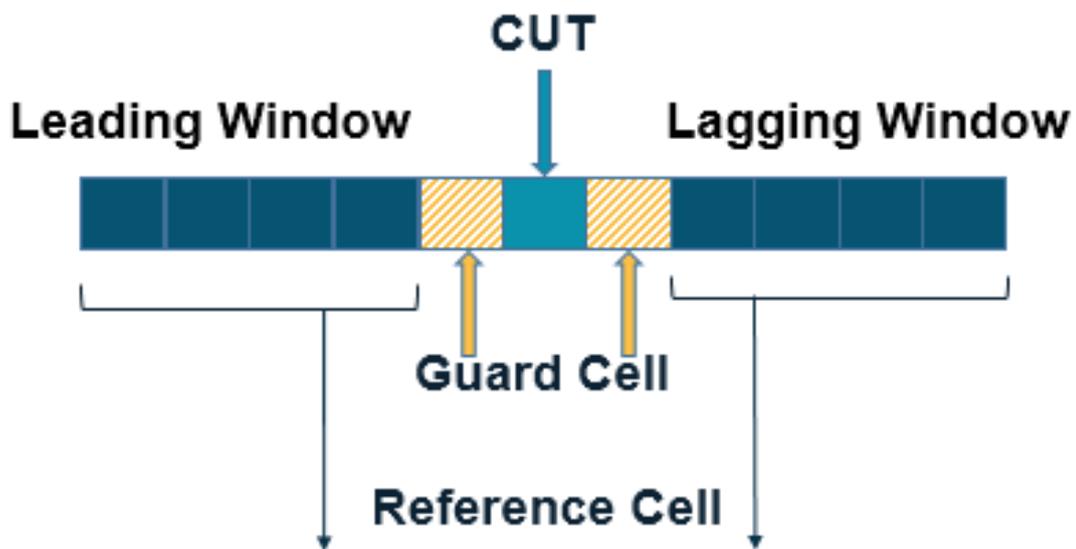


Figure II. 4 : La fenêtre CFAR

II.5 La perte CFAR

Malgré que la probabilité de détection est une bonne mesure des performances CFAR, elle est relative aux conditions de fonctionnement comme le rapport signal sur bruit (SNR). Ainsi, plutôt que la probabilité de détection, la perte CFAR est la règle habituelle utilisée pour juger des performances CFAR

La perte CFAR est la différence SNR, pour une PD donnée entre le détecteur Neyman-Pearson et l'algorithme CFAR concerné. Par exemple, sur la figure 12.12, pour une probabilité de détection de 0,4, la perte CFAR est proche de 1 dB de SNR.

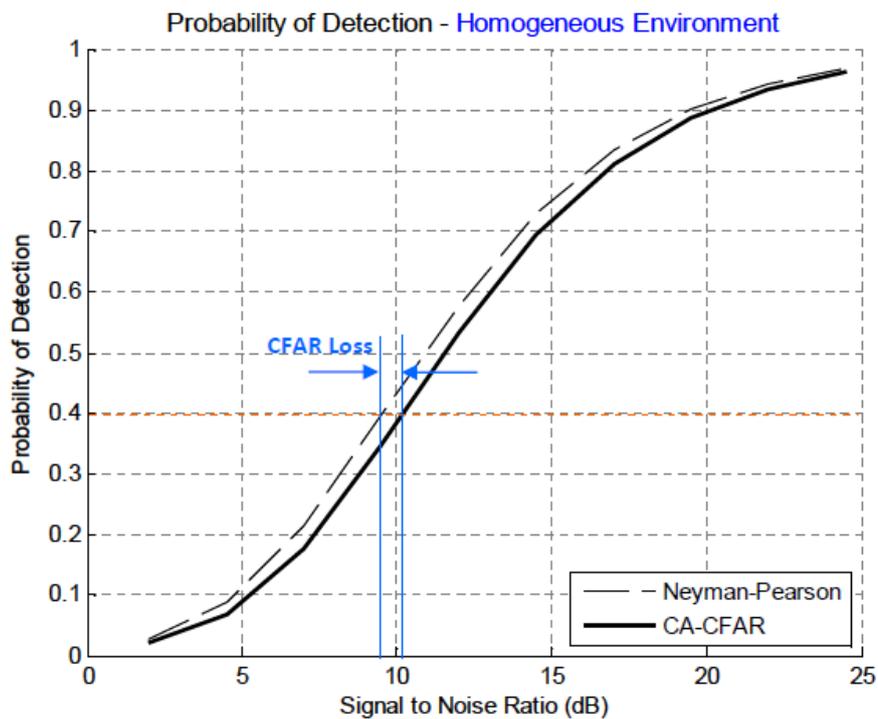


Figure II. 5 : Une courbe de probabilité de détection typique illustrant la perte de CFAR

II.6 Les détecteurs CFAR :

II.6.1 Le détecteur CA-CFAR :

Le système (CA-CFAR) qui désigne les initiales (cellular average-constant false alarm rate) de calcul de la moyenne cellulaire a été développé en 1947, par Howard Finn [14].

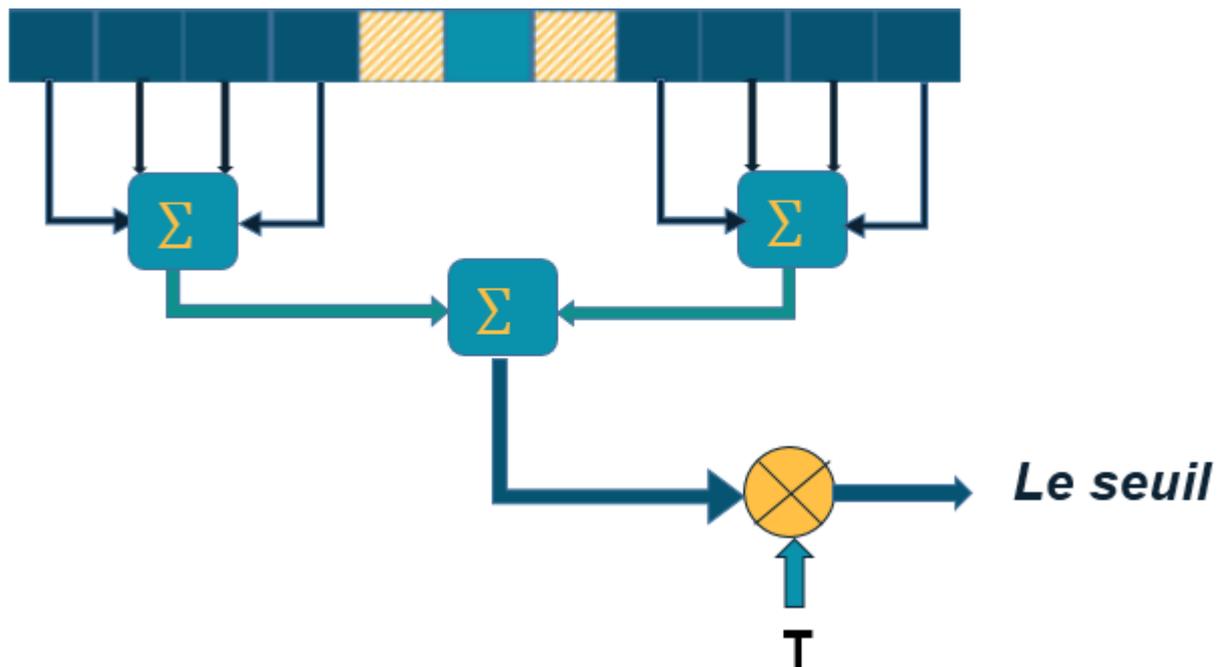


Figure II. 6 : Schéma synoptique du CA-CFAR

Dans le CA-CFAR, chaque cellule de référence est additionnée et multipliée au multiplicateur de seuil .

Pour le bruit gaussien et le détecteur à loi carrée, le multiplicateur de seuil est donné par :

$$\alpha = p_{fA}^{-\frac{1}{N}} - 1 \quad (\text{II.1})$$

α : est le multiplicateur de seuil.

N : est le nombre total de cellules de référence.

P_{fA} : est la probabilité souhaitée de fausse alarme.

En règle générale, la P_{fA} est conçue pour être très faible, de l'ordre de 10^{-5} ou 10^{-6} . La longueur de la fenêtre de référence, N , doit être choisie par le concepteur comme un équilibre des performances dans des environnements homogènes et non homogènes.

Dans ce type CFAR l'estimation du niveau du bruit du clutter se fait en calculant la moyenne arithmétique des échantillons dans les cellules de référence. Dans la présence du

CHAPITRE II :Analyse des détecteurs CA , OS et OSGO CFAR

clutter homogène, il a été montré que si la taille de la fenêtre de référence tend vers l'infini, la probabilité de détection tend vers celle du détecteur optimal de Neyman Pearson.

Le principal inconvénient de ce processus est que dans un environnement est non homogène c'est à dire présence d'un bord du clutter ou de cibles interférentes, le seuil de détection augmente et la probabilité de détection du détecteur CA-CFAR diminue même pour un rapport signal sur bruit élevé. Pour améliorer les performances dues à ces effets, un nombre de modifications dans la procédure classique CA-CFAR ont été proposées et analysées.

II.6.2 Le détecteur OS-CFAR :

La moyenne des cellules CFAR a été la première des méthodes CFAR. En supposant un bruit blanc gaussien homogène, à travers une fenêtre glissante, CA-CFAR estime le niveau de bruit de la cellule testée, CUT, par une somme arithmétique de N cellules adjacentes. Dans des environnements hétérogènes, cependant, les performances du CA-CFAR se dégradent rapidement.

L'OS-CFAR (Order statistics CFAR) avait été développé par Rohling [15]. Pour compenser la plupart des pièges du CA-CFAR. Plutôt que de prendre la moyenne arithmétique des cellules adjacentes, OS-CFAR classe les N cellules adjacentes de la plus petite à la plus grande et multiplie la $k^{\text{ème}}$ cellule qui est prise égale au la puissance du bruit Ce rang est choisi de manière à maximiser la probabilité de détection [15].

Les cellules de référence sont triées de la plus petite à la plus grande:

$$x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq x_{(3)} \leq \dots \leq x_{(k)} \leq \dots \leq x_{(N)}$$

La $k^{\text{ème}}$ cellule qui est la plus grande est multipliée par le multiplicateur de seuil correspondant pour obtenir le seuil souhaité: $\check{T} = a_{os}x_{(k)}$

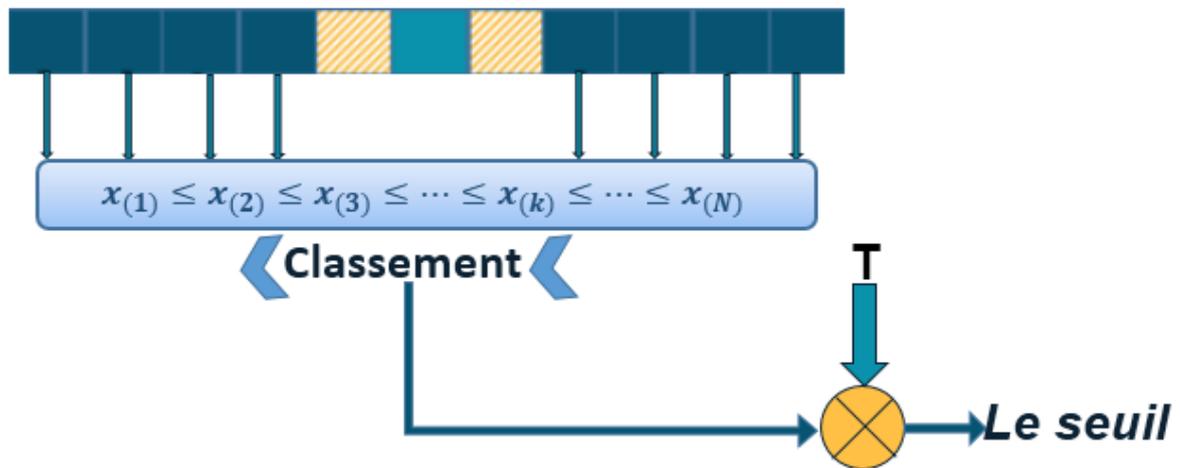


Figure II. 7 : Schéma synoptique OS-CFAR

Avec un détecteur à loi carrée, le multiplicateur de seuil α_{OS} peut être trouvé à partir des équations au-dessous dans un arrière-plan avec :

- La loi du bruit blanc gaussien :

$$\overline{p_{FA}} = \binom{N}{k} \frac{(\alpha_{OS}^2 + N - k)!}{(N - k)! (\alpha_{OS}^2 + M)!} \quad (2.2)$$

- La loi binomiale :

$$\binom{N}{k} = \frac{N!}{k!(N - k)!} \quad (2.3)$$

N : est le nombre total de cellules de référence.

k : est le rang de la cellule représentative utilisé.

p_{FA} : est la probabilité de fausse alarme souhaitée.

α_{OS} est le multiplicateur de seuil.

II.6.3 Le détecteur OSGO-CFAR :

Bien que l'OS-CFAR fonctionne bien dans la résolution des problèmes du masquage de cible, sa mise en œuvre coûte plus cher que le CA-CFAR et il souffre plus de fausses alarmes que le CA-CFAR au niveau du mur de fouillis.

Statistiques ordonnées Greatest-Of CFAR (OSGO - CFAR) représente une tentative de résoudre les deux problèmes à la fois.

CHAPITRE II : Analyse des détecteurs CA , OS et OSGO CFAR

L'OSGO-CFAR fonctionne de manière similaire à OS-CFAR dans son tri des cellules de référence. La différence, cependant, est que dans OSGO CFAR, les N cellules de référence de la fenêtre principale et de la fenêtre retardée sont triées indépendamment, en deux sous-listes N / 2.

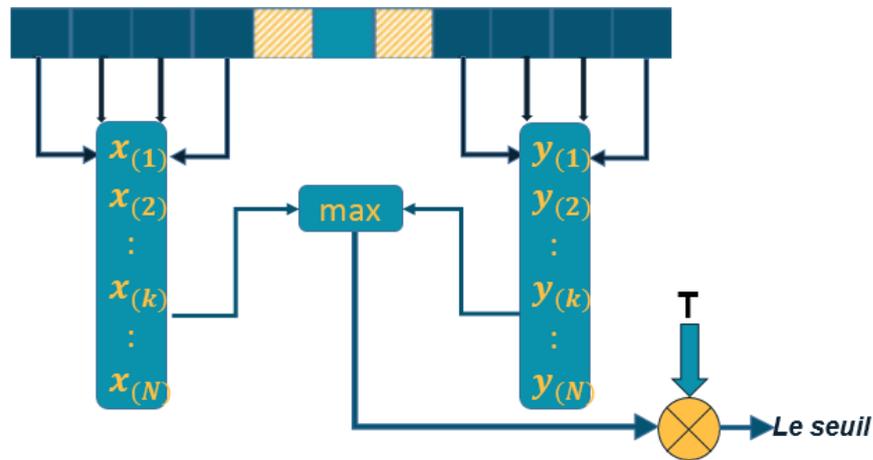


Figure II. 8 : Schéma sinoptique OSGO-CFAR

Les $k^{\text{èmes}}$ plus grandes cellules des deux sous-listes sont comparées, et la plus grande des deux est utilisée avec le multiplicateur de seuil pour définir le seuil.

Le multiplicateur de seuil est donné par cette équation:

$$p_{\text{FA}}^{\text{OSGO}} = 2k^2 \binom{N}{k} \sum_{j=0}^{\frac{N}{2}-k} \sum_{i=0}^{\frac{N}{2}-k} \binom{\frac{N}{2}-k}{j} \binom{\frac{N}{2}-k}{i} \frac{(-1)^{N-2k-j-i} \Gamma(N-j-i) \Gamma(\alpha+1)}{\frac{N}{2}-i \Gamma(N-j-i+\alpha+1)}$$

II.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a illustré le principe du détecteur CFAR, et des trois types (CA-CFAR, OS-CFAR et le OSGO-CFAR), on a parlé de leurs avantages et inconvénients et cité les différentes équations du seuillage et probabilités de fausses alarmes

Le prochain chapitre est l'analyse des simulations des différents cas de détections dans les milieux homogène et non homogène.

Chapitre III:

*Simulation et interprétation des
résultats*

Chapitre III : Simulation et interprétation des résultats

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre on a étudié le comportement de la coube de la probabilité de détection en fonction du SNR de quelques détecteurs CFAR dans plusieurs conditions et dans les deux milieus homogènes et non homogène afin de connaitre le détecteur qui offre les meilleurs performances.

Notre étude est faite en analysant et comparant les résultats des algorithmes élaborés en utilisant le langage MATLAB sous l'environnement WINDOWS 7.

III.2 Cas d'un milieu homogène :

- Prise de 8 cibles de référence :

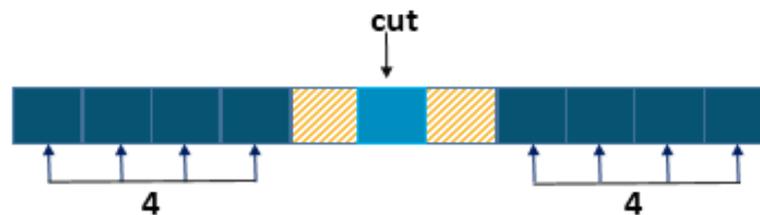


Figure III. 1 : Fenêtre CFAR pour $N=8$.

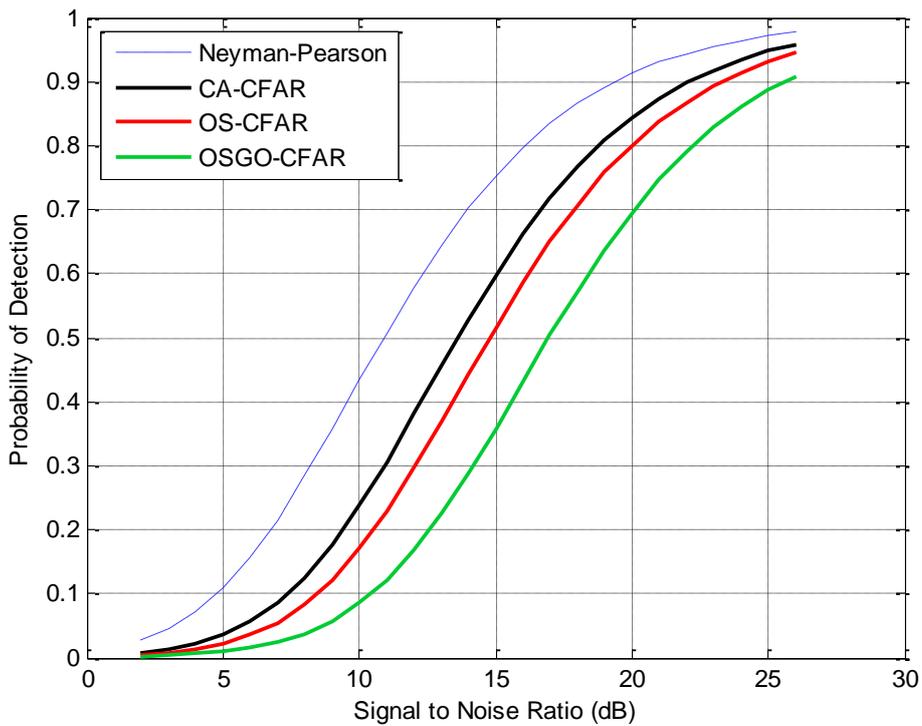


Figure III. 2 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS , OSGO CFAR), $N=8$.

➤ **Résultats et discussions :**

Ces courbes sont croissantes mais lentement que l'optimale (neyman-Pearson). Comme on a vu le début de croissance de ces courbes commence à 5dB par contre celui de l'optimale est à partir de 2dB, Aussi, on a observé que le détecteur CA-CFAR est le plus proche à l'optimale par rapport aux deux autres détecteurs OS et OSGO-CFAR.

- Prise de 16 cibles de référence :

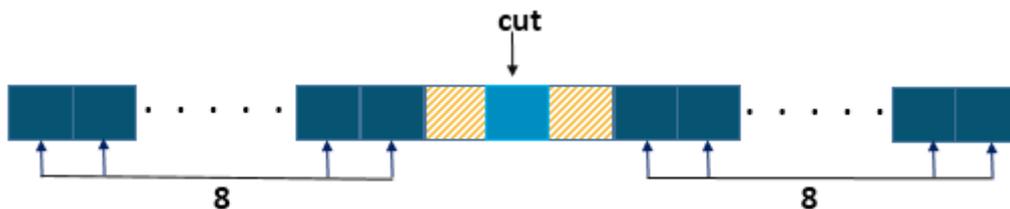


Figure III. 3 : Fenêtre CFAR pour $N=16$

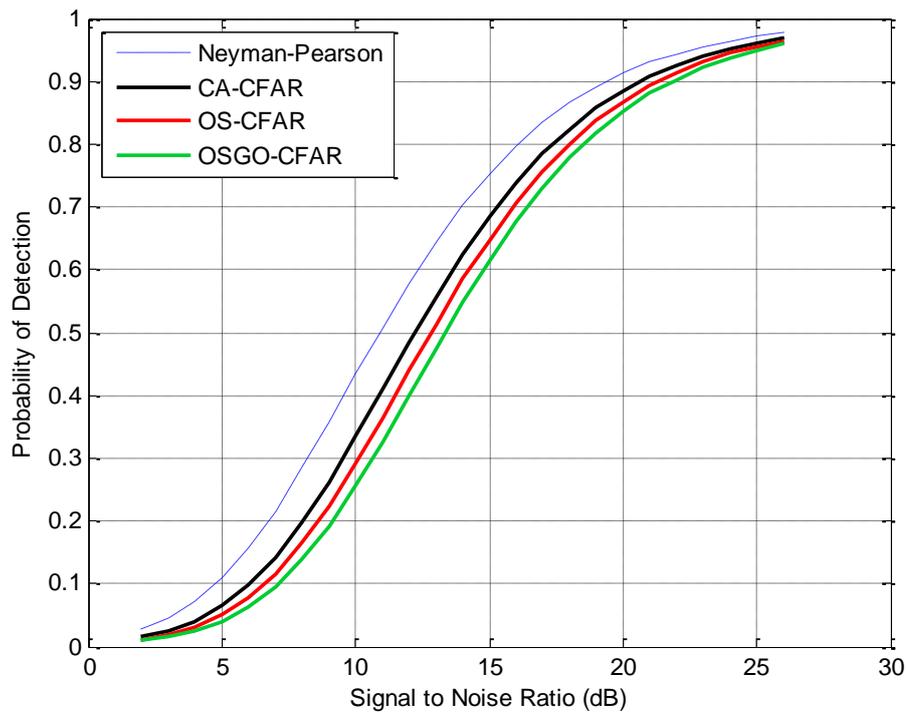


Figure III. 4 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS , OSGO CFAR), $N=16$

- Prise de 24 cibles de référence :

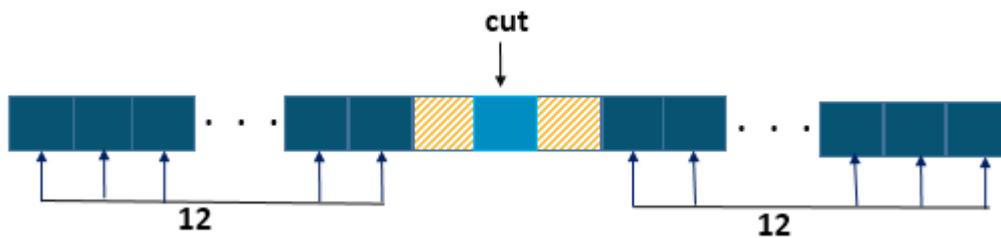


Figure III. 5 : Fenêtre CFAR pour $N=24$

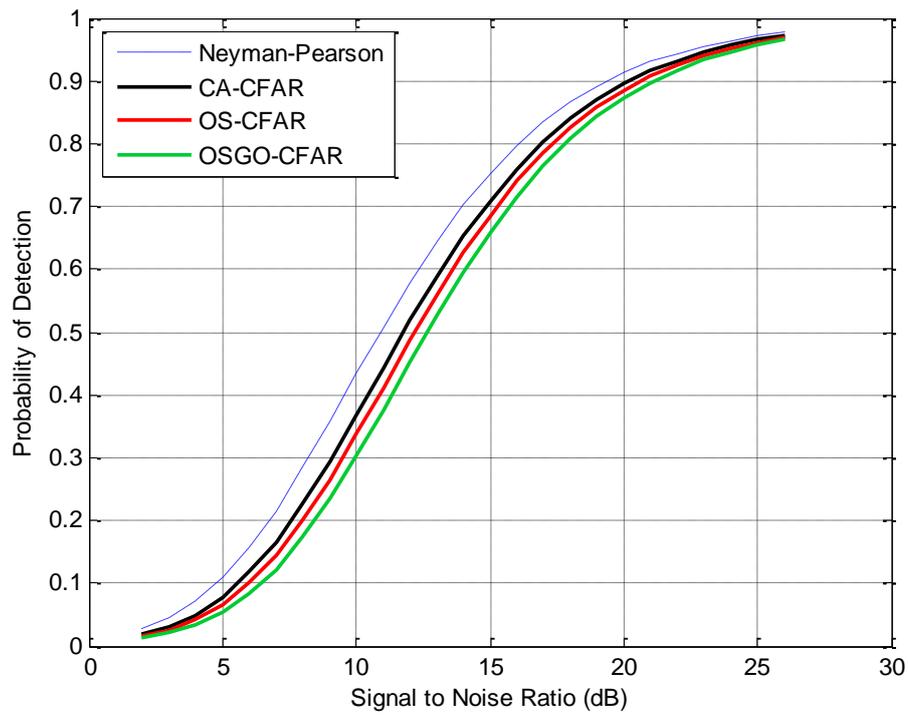


Figure III. 6 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS , OSGO CFAR), $N=24$

- Prise de 32 cibles de référence :

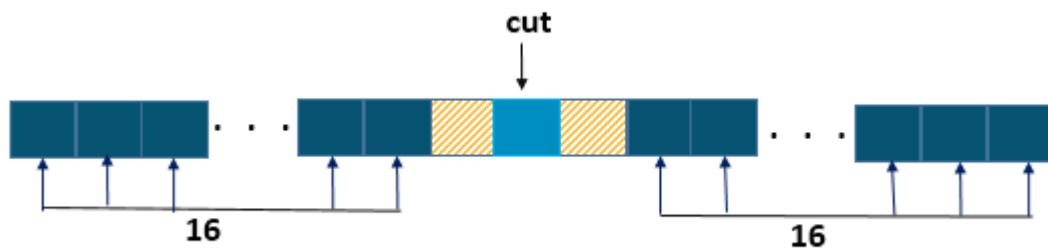


Figure III. 7 : Fenêtre CFAR pour $N=32$

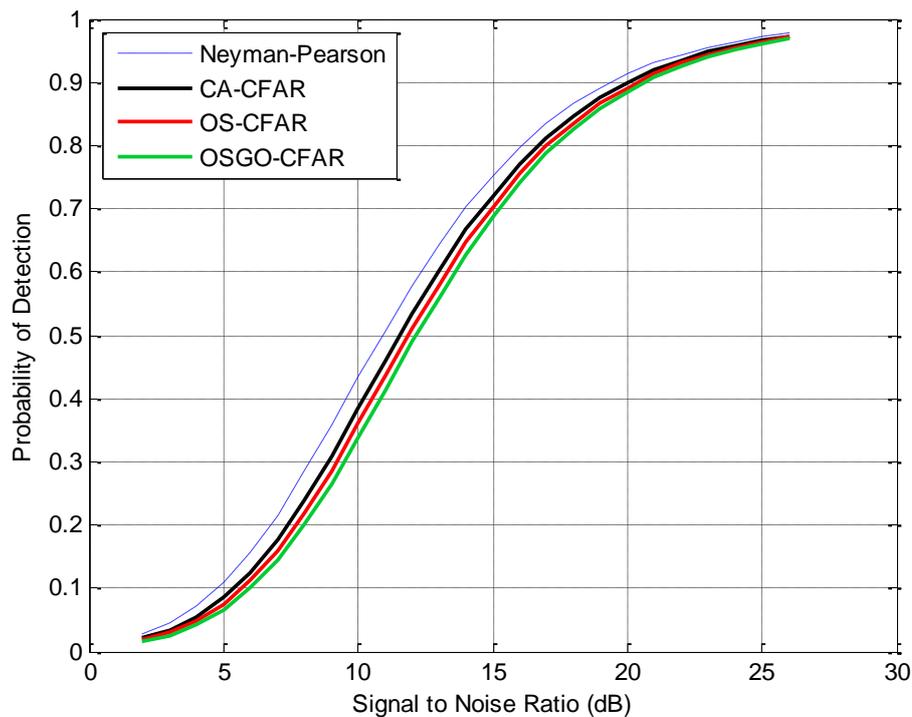


Figure III. 8 : Probabilité de détection en fonction du SNR,

détecteurs (CA, OS , OSGO CFAR), $N=32$

➤ **Résultats et discussion :**

Dans ces 3 dernières figures, similaires à la précédente on a observé que pour le cas de $N=32$ les courbes des 3 détecteurs (CA, OS, OSGO) sont plus simulées entre eux et sont plus proches aussi à l'optimale de Neyman-Pearson que celles du cas $N=24$, qui sont à leurs tour meilleures que celles du cas $N=16$.

➤ **Conclusion 1 :**

On conclue que :

- le principale facteur influant sur la probabilité de détection p_d dans un milieu homogène reste en premier lieu le nombre de cellules N , plus le nombre de cellules N augmente, plus la probabilité de détection augmente pour de faible valeur de **SNR**.
- La détection la plus proche de l'optimale est celle du CA-CFAR ensuite celle du OS-CFAR suivie par celle du OSGO-CFAR.

Chapitre III : Simulation et interprétation des résultats

III.3 Cas du milieu non homogène :

Cet environnement est caractérisé par les présences de plusieurs cibles, donc on va voir l'influence de ces cibles sur la Pd des détecteurs étudiés.

Dans cette simulation, on va fixer les paramètres suivants :

- Probabilité de fausse alarme désirée : $P_{fa}=10^{-6}$.
- Nombres des essais : $n_{\text{Trial}}=10^6$
- Rapport signal sur bruit en dB : $\text{SNR}_{\text{dB_set}}=2 : 0.5 : 36$
- Nombre des cellules de gardes : $n_{\text{GuardCell}}=1$

Et varier les paramètres suivants :

- La constante $K = 3/4*N$, $7/8*N$.
- Le nombres des cellules : $N=16,24,32$.
- Le nombre et les positions des cibles interférentes : masking targets.

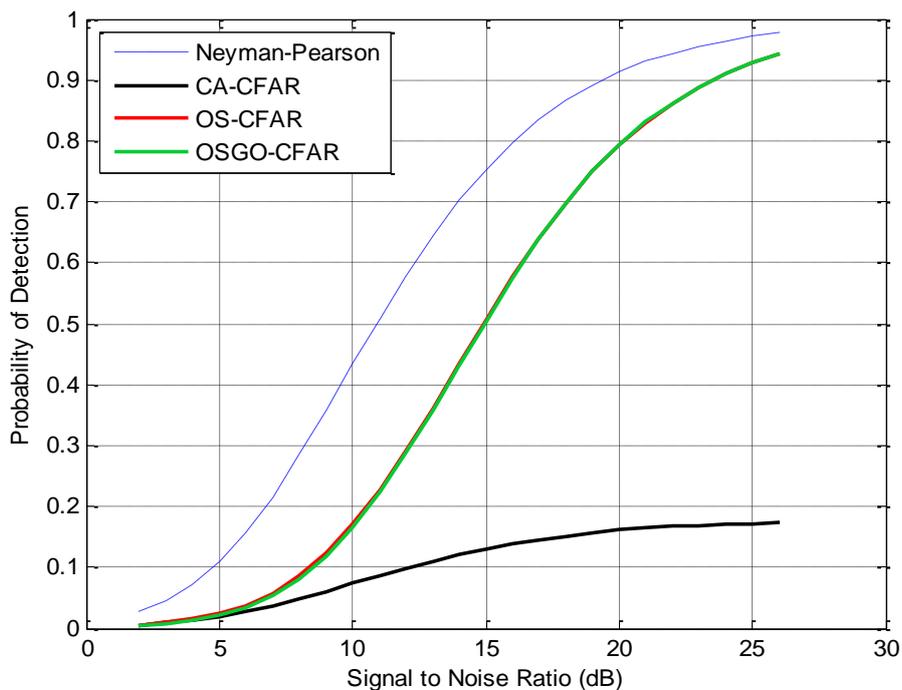


Figure III. 9 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS, OSGO CFAR) $N = 16$, 3 cibles interférentes.

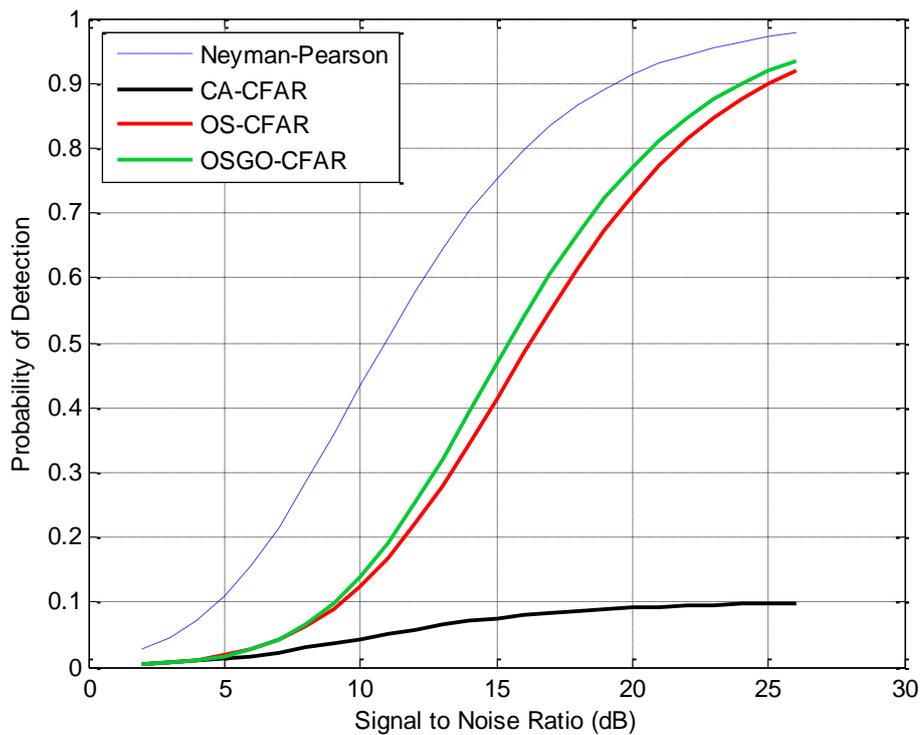
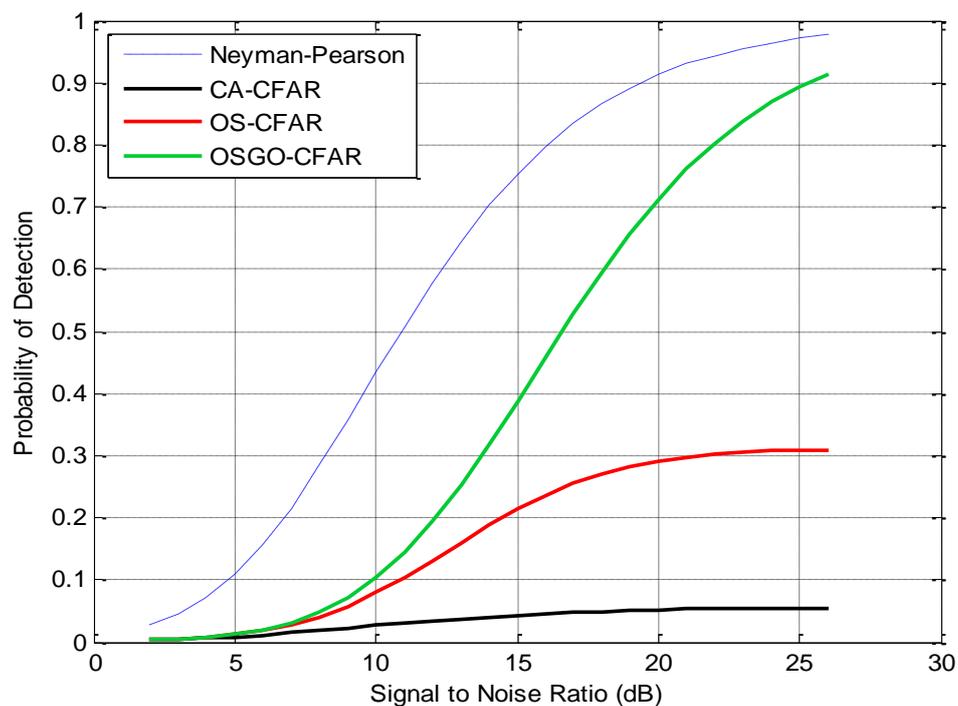


Figure III. 10 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS, OSGO CFAR) $N=16$, 4 cibles interférentes.



Chapitre III : Simulation et interprétation des résultats

Figure III. 11 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS, OSGO CFAR) N=16, 5 cibles interférentes.

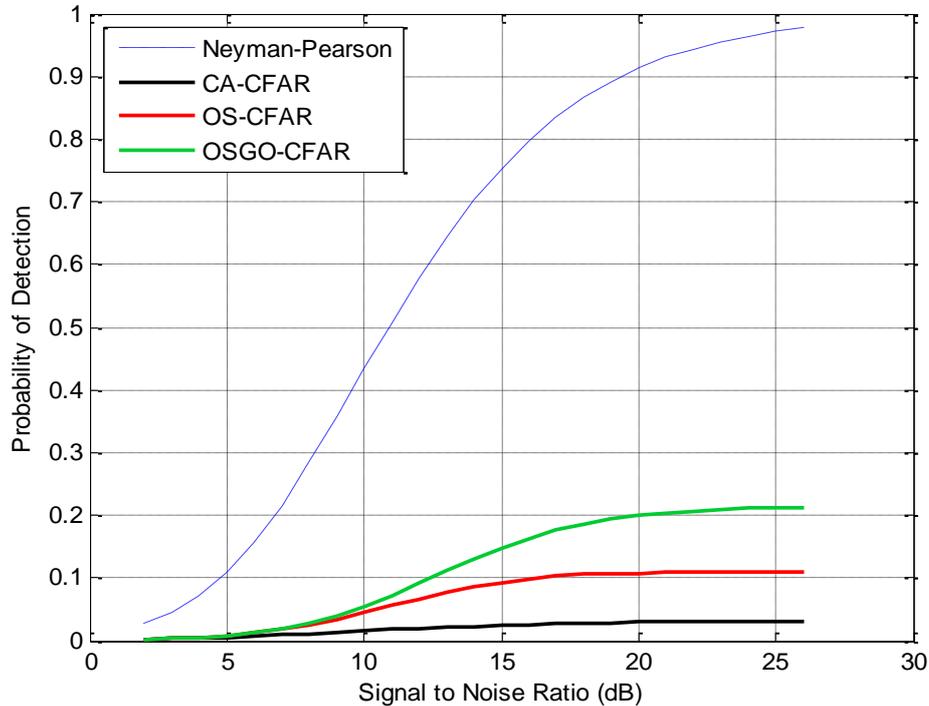


Figure III. 12 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS, OSGO CFAR) N=16, 6 cibles interférentes.

Discussion :

- Pour les cas représentés dans les figures au-dessus on a pris le $K=3/4*N=12$ donc le nombre maximal des cibles interférentes $\Rightarrow N-K=4$.

- On remarque que dans les 2 premiers cas (nombre de cibles ≤ 4) les 2 détecteurs OS-CFAR et OSGO-CFAR présentent une détection proche de l'optimale par contre la probabilité de détection du détecteur CA-CFAR diminue de 0.175 à 0.1.

- Et pour les cas ($4 <$ nombre de cibles ≤ 6) on remarque que la probabilité de détection des trois détecteurs CFAR s'affaiblissent, pour l'OSGO elle diminue jusqu'à 0.2, pour le OS-CFAR jusqu'à 0.1 et pour le CA jusqu'à 0.03.

➤ Conclusion 2 :

On conclue que :

- A la présence des cibles interférentes, le détecteurs OSGO-CFAR présente une probabilité de détection meilleure que celle du OS-CFAR et CA-CFAR. La PD de ce dernier est la plus mauvaise.

Chapitre III : Simulation et interprétation des résultats

• Plus le nombre de cibles interférentes augmente, plus la probabilité de détection devient médiocre pour les trois détecteurs étudiés

Pour les quatre cas suivants, prendre : $N=24$ et $K=3/4*N=18 \rightarrow N-K=6$.

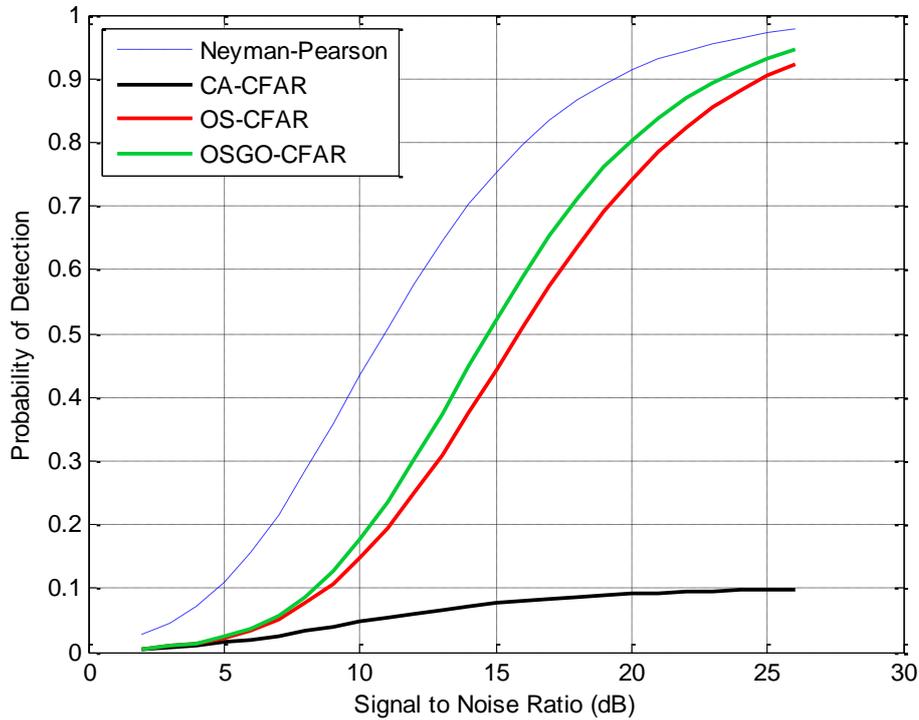


Figure III. 13 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS, OSGO CFAR) $N=24$, 6 cibles interférentes dans 2 fenêtres différentes.

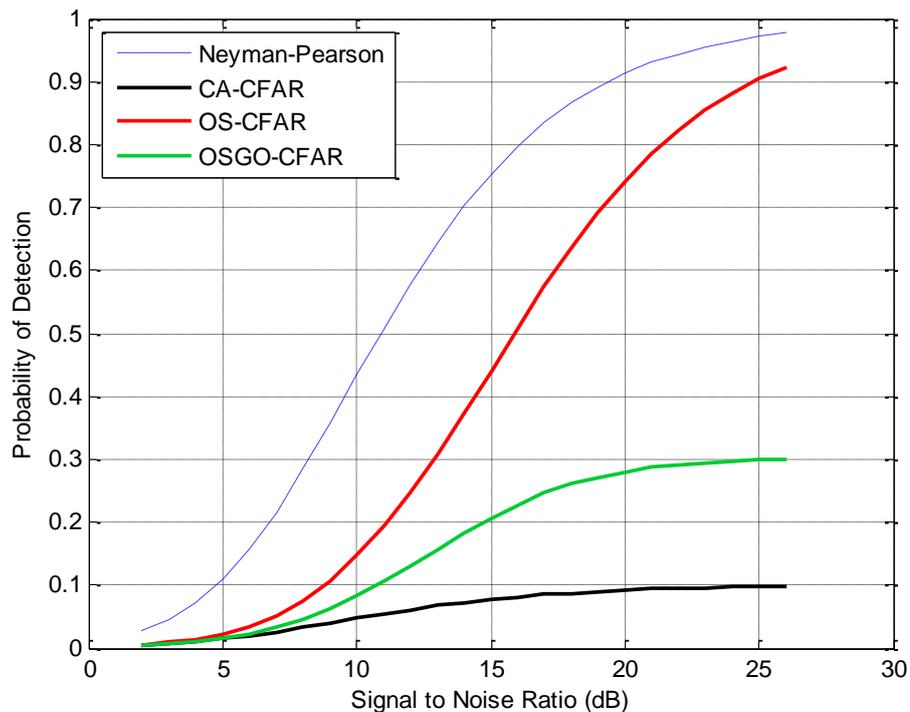


Figure III. 14 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS, OSGO CFAR) $N=24$, 7 cibles interférentes dans 2 fenêtres différentes.

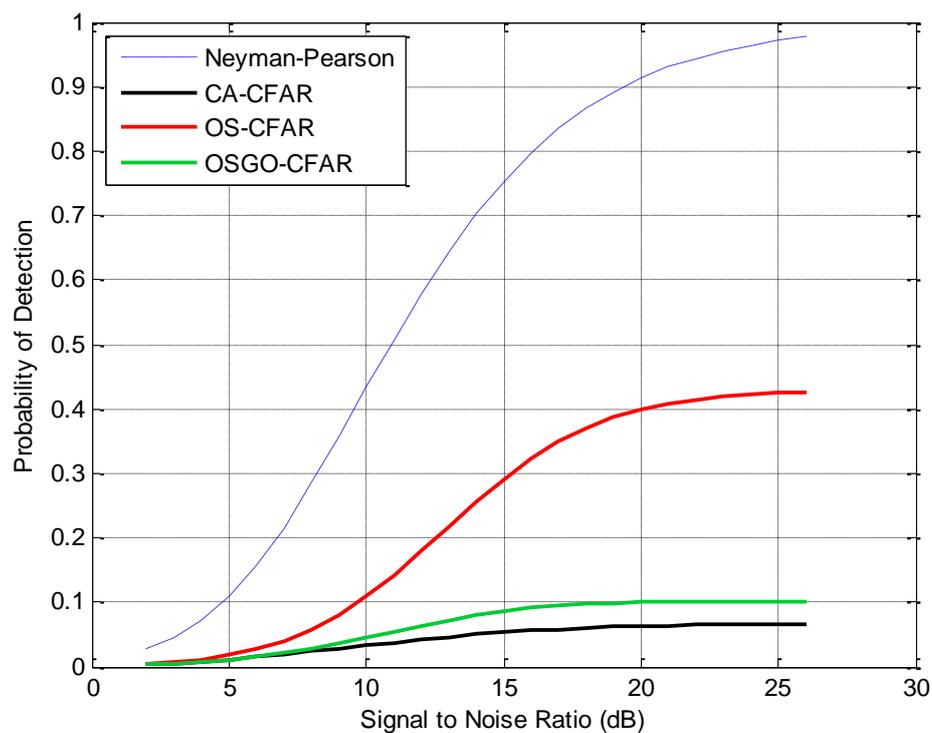


Figure III. 15 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS, OSGO CFAR) $N=24$, 6 cibles interférentes dans la même fenêtre.

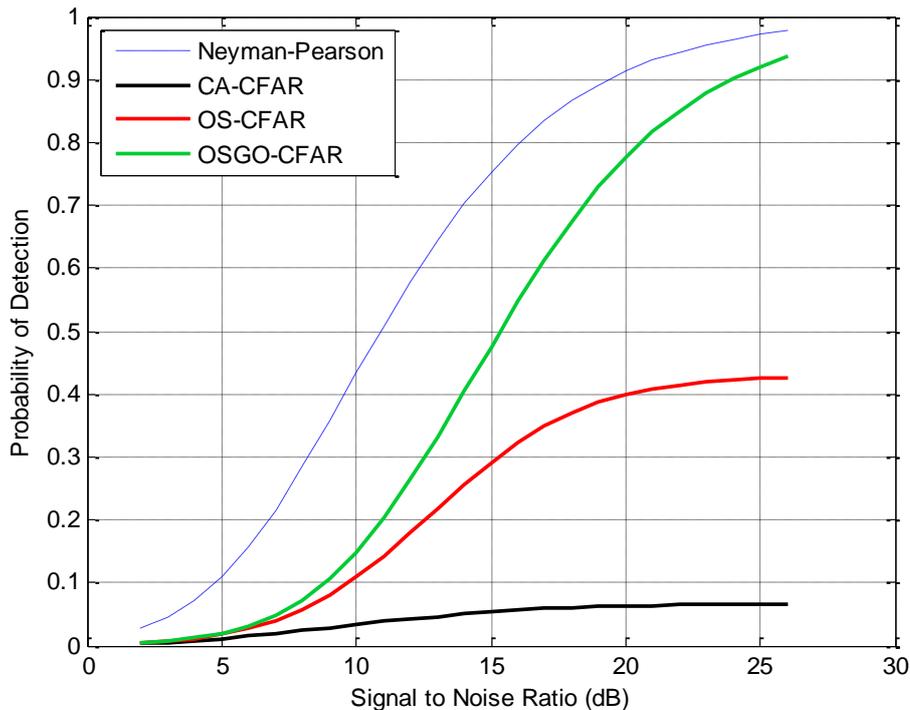


Figure III. 16 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS, OSGO CFAR) $N=24$, 7 cibles interférentes dans la même fenêtre.

➤ **Résultats et discussion :**

Dans les deux premiers cas on a pris le nombre de cibles interférentes =6, pour le premier cas ces cibles appartiennent à deux fenêtres différentes et pour le deuxième elles appartiennent à la même fenêtre.

On remarque que en changeant la position des cibles interférentes la probabilité de détection en fonction du SNR en dB des détecteurs CA-CFAR et OS-CFAR ne change pas, contrairement à celle du OSGO-CFAR qui s'est dégradé et atteint 0.3 à 22dB.

Pour les deux autres cas on a pris le nombre de cibles interférentes =7, pour le premier cas ces cibles appartiennent à deux fenêtres différentes et pour le deuxième elles appartiennent à la même fenêtre

Et on remarque la même évolution de la Pd des 2 cas précédents sauf que la diminution de la probabilité de détection du OSGO est plus rapide et on a eu la valeur 0.1 à SNR=17dB.

Et pour la différence entre les 4 cas on remarque qu'on ajoutant une cible de référence les pd des CA-CFAR et OS-CFAR dégradent et celle du OSGO garde son évolution.

Chapitre III : Simulation et interprétation des résultats

➤ Conclusion 3:

On conclue que :

- Pour un nombre de cibles interférentes fixe les performances de détecteurs CA-CFAR et OS-CFAR ne changent pas en changeant les fenêtres qui contiennent des cibles interférentes, contrairement à l'OSGO-CFAR qui marque une détection médiocre dans le cas où les cibles sont dans la même fenêtres par rapport à celui ou les cibles se trouvent dans les 2 fenêtres.

- En dépassant le nombre $N-K$ des cibles interférentes, le OSGO-CFAR offre une meilleure détection que celles du OS-CFAR qui atteint 0.43 à 25dB et le CA-CFAR qui éteint 0.07 au même SNR.

Pour les cas suivants prendre : $N=32$

$$K=3/4*N=24$$

⇒ le nombre maximal de cibles interférentes = $N-K=8$

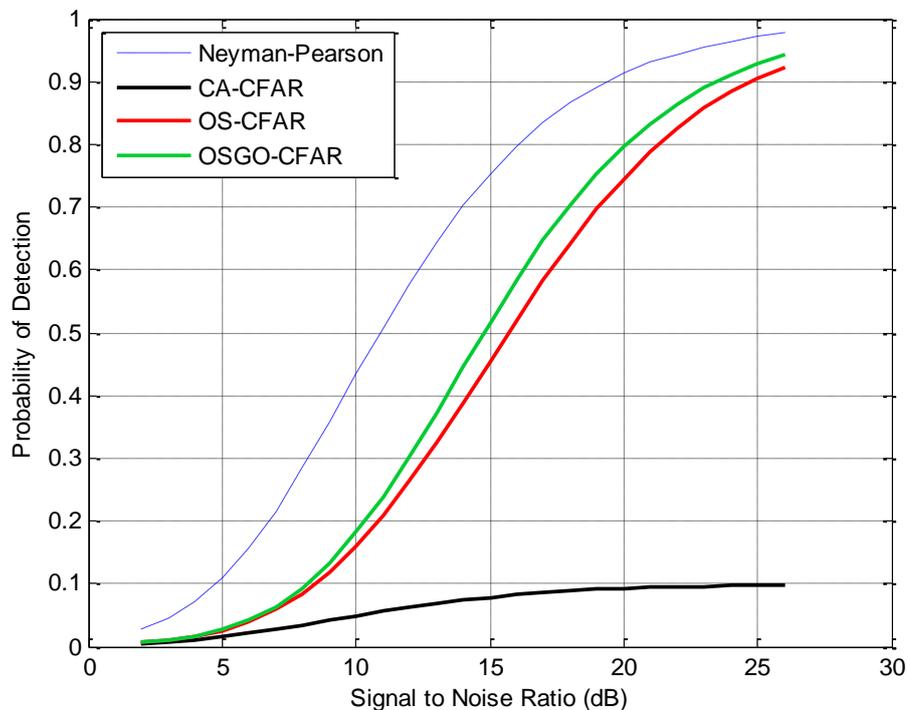


Figure III. 17 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS, OSGO CFAR) $N=32$, 8 cibles interférentes, $K=3/4*N$.

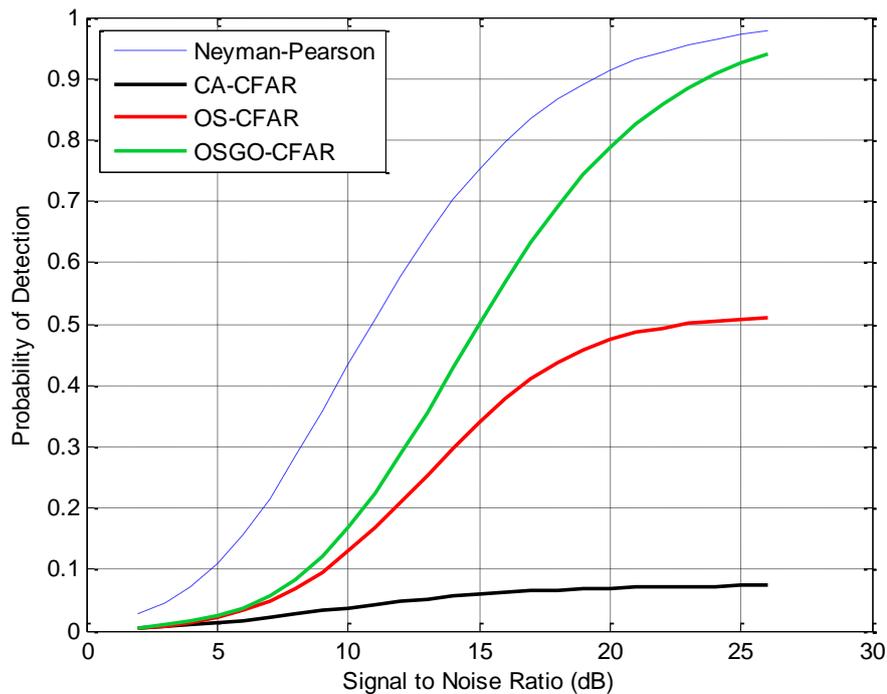


Figure III. 18 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS, OSGO CFAR) $N=32$, 9 cibles interférentes, $K=3/4*N$.

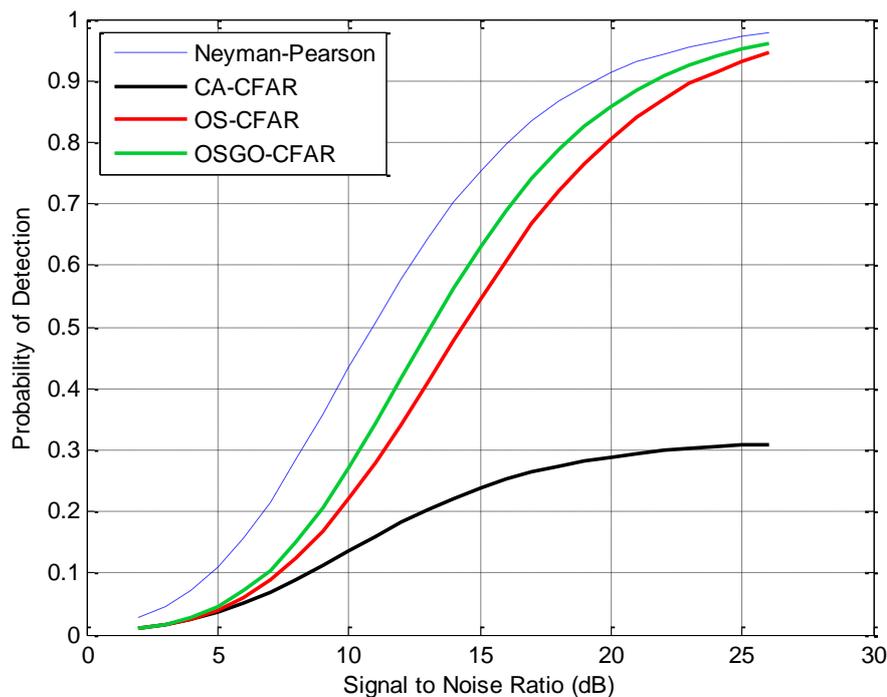


Figure III. 19 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA, OS, OSGO CFAR) $N=32$, 4 cibles interférentes, $K=7/8*N$.

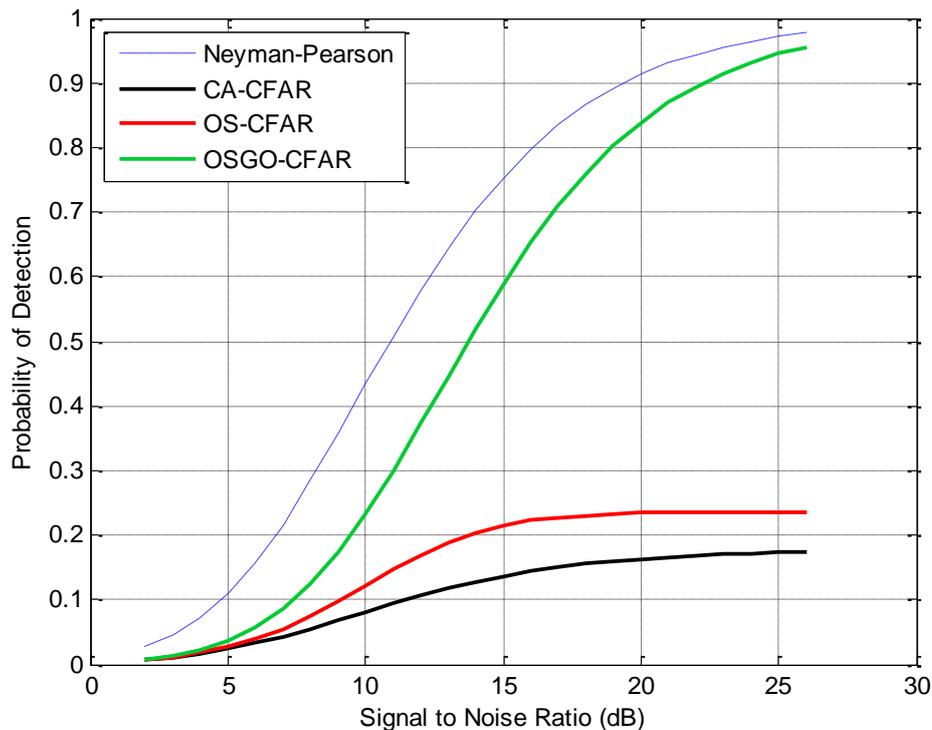


Figure III. 20 : Probabilité de détection en fonction du SNR, détecteurs (CA,OS, OSGO CFAR) $N=32$, 6 cibles interférentes, $K=7/8*N$.

➤ **Résultats et discussion :**

On remarque que :

- Pour les cas où le nombre de cibles interférentes = $N-K$

Le deux détecteurs offrent une détection pour $K=7/8*N$ meilleure que celle pour $K=3/4*N$.

- Et pour les cas où le nombre de cibles interférentes est supérieure à

$N-K$, seul le OS-CFAR qui offre une meilleure détection pour le K qui est égale à $3/4*N$ que pour celui qui est égale $7/8*N$ contrairement à l'autre.

➤ **Conclusion 4:**

On conclue que :

- Pour le OSGO-CFAR et le CA-CFAR il est préférable d'utiliser le $K=7/8*N$, et d'utiliser le $K=3/4*N$ pour le OS-CFAR.

- Pour les 4 cas étudiés pour $N=32$ le OSGO-CFAR offre toujours la meilleure détection

- Pour le $K=7/8$ la détection des 2 détecteurs se dégradent en dépassant le nombre de cibles interférentes $N-K$

III.4 Conclusion :

D'après les simulations et les résultats trouvés dans ce chapitre on conclue que :

• Dans un milieu homogène :

➤ les trois détecteurs présentent une probabilité de détection proche de l'optimal, on peut les classer par cet ordre : CA-CFAR, OS-CFAR puis l'OSGO-CFAR.

➤ L'augmentation de nombre de cellules améliore la détection des trois CFAR.

• Dans un milieu non homogène il y a plusieurs facteurs qui influent sur le comportement de la courbe $PD=f(SNR)$:

➤ L'augmentation du nombre de cibles interférentes : en dépassant le nombre maximal qui est égal à $N-K$ cibles interférentes la probabilité de détection devient médiocre.

➤ La distribution des cibles interférentes : si les cibles appartiennent à la même fenêtre la PD du détecteur OSGO-CFAR est mauvaise par rapport à celle ou les cibles appartiennent à deux fenêtres.

➤ Le rang K : pour le OS-CFAR il est préférable d'utiliser la formule $K=3/4*N$ et pour l'autre détecteur c'est mieux d'utiliser l'autre formule $K=7/8*N$.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

Au cours de notre travail, nous avons étudié un certain nombre d'algorithmes CFAR, chacun a ses propriétés et son comportement dans chaque environnement.

En absence des cibles interférentes, le nombre de cellules N reste en premier lieu le principal facteur qui influe sur la probabilité de détection. Pour de faibles valeurs de SNR, l'augmentation de la probabilité de détection dépend de l'augmentation de la taille de la fenêtre.

La moyenne cellulaire CFAR (CA-CFAR), bien qu'il offre la meilleure détection dans l'environnement homogène, mais il subit une baisse de performance majeure dans les environnements non homogène.

Pour les statistiques ordonnées CFAR (OS-CFAR), il présente aussi une détection proche de l'optimal dans le cas homogène et se dégradent un peu dans la présence de cibles mais devient très médiocre si le nombre de ces cibles dépassent le $N-k$.

Et pour le dernier détecteur étudié le OSGO-CFAR sa courbe a un comportement similaire aux ceux des deux premiers détecteurs dans l'absence de cibles et meilleurs qu'eux dans la majorité des cas de l'environnement non homogène.

Le choix du rang K influe sur les performances des détecteurs, pour le OS-CFAR il est préférable d'utiliser la formule $K=3/4*N$ et pour l'OSGO-CFAR c'est mieux d'utiliser l'autre formule $K=7/8*N$.

En continuité de ce travail, nous envisageons d'analyser les performances d'autres détecteurs CFAR d'autres environnements homogènes et non homogènes.

Bibliographie

Bibliographie :

- [1] Mr S.Meguelati, «Cours Radar », Université De Blida, 5éme Année Ingénieur, Département Aéronautique (Option: Installation), Année:2009/2010.
- [2] Éditeur: Christian Wolff, Traduction En Langue Française Et Révision : Pierre Vaillant Et Christophe Paumier, Version 3 Août 2011. Site Internet : www.Radartutorial.Eu.
- [3] M.R. krattou, thèse de magister, université de Tlemcen, département d'électronique, étude de la détection radar dans un milieu homogène, 2013.
- [4] Souâd Chabbi, "Détection Adaptative Cfar A Censure Automatique Basse Sur Les Statistiques D'ordre En Milieux Non Gaussiens" Université De Constantine, Département D'électronique, Promotion 2008.
- [5] Latifa Abdou "Application Des Algorithmes Évolutionnaires À L'optimisation Du Seuil De Détection Dans Les Systèmes Distribués Cfar", Thèse De Doctorat En Science En Électronique, Université De Batna, 08 Avril 2009.
- [6] B. Atrouz, "Les Systems Radar", Ecole Militaire Polytechnique.
- [7] Laroussi, T "Détection Adaptative Cfar De Cibles Chi Square Corrélées À Plusieurs Degrés De Liberté En Présence De Fouillis Rayleigh Corrèle", Thèse De Doctorat D'état, Université De Constantine, Année 2005.
- [8] Achbi Medsaid, Abadli A/Moutaleb «Analyse Des Performances Des Détecteurs Ca, Os Et Ml-Cfar Dans Un Clutter De Distribution Weibul», Université Mohamed Khider Biskra, Mémoire De Fin D'étude En Vue De L'obtention du Diplôme D'ingénieur D'état En Automatique, Promotion2007].
- [9] M. Barkat. "Signal Détection And Estimation ", Artech House Radar Library, Ma 02062, 2Émé Édition 2006].
- [10] A.Mezache, conférence internationale de l'IEEE sur le traitement du signal et les communications, 2007].
- [11] Anastassopoulos et al, A Comparative Study of Pattern Recognition Algorithms for Classification of Ultrasonic Signals, 1999.
- [12] [Hammoudi, Z. "Analyse des Performances du Détecteur IVI-CFAR Distribue et des Détecteurs CA-CFAR et OS-CFAR Distribués Utilisant les Règles de Fusion Floues dans des Milieux Non Homogènes". Thèse de Doctorat d'état. Département d'Electronique, Faculté des Sciences de L'ingénieur, Université de Constantine, 2004].
- [13] Barkat, M."Signal detection and estimation". Artech house. Norwood, MA, USA, 1991.
- [14] Finn, H.M., and Johnson, R.S.: 'Adaptive detection mode with threshold control as a function of spatially sampled clutter estimates', RCA Rev., 1968, vol.29, no.3, pp.
- [15] Site web radartutorial.eu.
- [16] Gini, Greco et Farina, Clairvoyant and adaptive signal detection in non-Gaussian clutter: a data-dependent threshold interpretation, IEEE Trans. Sig. Proc., Juin 1999.