

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET
POPULAIRE**
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Saad Dahleb de BLIDA
Institut d'aéronautique et des études spatiales

Projet de fin d'études
En vue d'obtention du Diplôme Master en Aéronautique

Option: CNS/ATM
Communication Navigation Surveillance / Air Traffic Management

Thème:

**Étude et simulation d'un système
de détection combiné de cibles Radar**

Réalisé par:
Melle. Benchebha Zineb

Proposé et dirigé par:
Dr. Megaz Boualem

Promotion : 2013



Dédicaces

Je dédie mon mémoire de fin d'étude

*pour l'obtention du diplôme de master académique en aéronautique option
communication navigation surveillance / air trafic management*

*A la mémoire de mon très cher père mon diamant précieux qui m'a inspirer
dans la vie (Allah yerahmou)*

*A ma chère maman qui m'a soutenus pendant toute ma scolarité et encouragés
et voulue voir le jour où je serais diplômée d'un master.*

*. A la mémoire de tous mes chers qui sont loin de ce monde à leur tête ma
grande mère maternelle "Mama"*

A mes deux chères sœurs : la merveilleuse Soumia et Bouchra

A mes chers frères: Hakim, Nabil, Mohammed, Abdelwahed, Nadjib

A mes belles sœurs: Sabah, Hafida, Nassira, Houria

A mes très chères neveux et nièces : mon âme sœur Ryma

, Aniss, Khalil, Mohammed Ali, Fati, Abdellah, Meriem, Maria, Amira, Abderrahmen

A tous mes cousins et cousines et toute ma grande famille

Rabeh, Djacuida, Awatif, Abdou.

*A ma chère khalti Yamina et sa famille A khali el-Hadi et sa famille, Akhali
Mohammed et sa famille A khali Mourad et sa famille A toute ma famille d'el-Allig à
leur tête la famille de mon oncle el-Hej*

A tous les gens qui mon aide a leur tête mon très cher ami : Hamid moulcoud

A tous mes amies de toutes les phases de ma vie de l'enfance et de la jeunesse

Ainsi qu'à toute la promotion de master cns / atm 2012 / 2013 de

L. J. A. B. Blida.

Zineb



Remerciements

*T*out d'abord, je remercie Allah de m'avoir donnée force et courage afin de réaliser ce modeste travail.

Je tiens à remercier également mon promoteur Dr Megaz qui m'a accompagné durant ce projet, pour avoir proposé et dirigé ce P.F.E, ainsi que pour l'aide et les conseils qui m'ont illuminé mon chemin.

Ainsi je remercie mon encadreur Benachenhou pour leurs écoutes et leurs conseils scientifiques éclairés qui ont été pour moi une source de motivation depuis ma première année universitaire.

Je tiens à exprimer ainsi ma profonde gratitude à l'ensemble des étudiants Master 2 cns / atm pour leur chaleureux accueil lors que je suis venu du département d'Electronique

Aux membres de jury, de m'avoir fait l'honneur de juger et d'évaluer mon modeste travail.

Mes chaleureux remerciements vont à : la famille de mon oncle et Hadi, Mouloud Hamid, Touibia Seukhal (pilote de chasse), Bouhali Abdelahhak, Ismail (bibliothèque).

Et A tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

ملخص:

إنّ شروط الكشف في أجهزة الرادار جدّ متغيّرة و تتعلّق بصفة كبيرة ببيئة هذا الأخير. إنّ مقومات هذا الكشف عادة ما تكون ضعيفة في بيئات جدّ مضطربة. مثل هذه الإشكالية يمكن أن تبقى حتى وإن تم حلّها بواسطة ضبط عتبة متغيّرة و متكيفة مع إشارات الرادار بناء على ضبط قيمة ثابتة للإنذار الخاطئ (CFAR). الهدف من مشروع بحثنا هذا يكمن في دراسة ومحاكاة كاشف أهداف رادار مركب. و لذلك فإنّ محور عملنا هذا يكمن في دراسة كاشف جديد (C-CFAR مركب CFAR Combined) موجّه خصيصا للتأقلم مع بيئات متجانسة و غير متجانسة. الخطة الجديدة المتبنّاة في هذه المذكرة مبنية أساسا على التوفيق بين الكاشفين Cell Averaging-CFAR (CA-CFAR) و Averaging-CFAR (Averaging-CFAR) و OS-CFAR (Ordered Statistic-CFAR). النتائج المتحصّل عليها تبيّن أنّ التركيبة المنتهجة تسمح بالحصول على نتائج ذات نوعيّة ومثانة ريفعتين سواء في بيئات متجانسة أو في حضرة تداخلات، و ذلك بمقارنتها بنتائج الكاشفين CA-CFAR و OS-CFAR.

مفاتيح: رادار، كشف، القيمة الثابتة للإنذار الخاطئ (CFAR).

ABSTRACT:

The detection conditions of Radar systems are very variables and depend on the environment. Thus, in many cases, the performances of detection decrease in much damaged environment. The problem can persist with arrangement of an appropriate threshold of detection by using a constant false alarm. The objective of our project is the study and simulation of combined detection of Radar targets. Therefore, we study a new CFAR detector designed for homogenous and non-homogenous environments known as C-CFAR (Combined-CFAR). The new detector is based on the combination of two detectors, CA-CFAR (Cell Averaging-CFAR) and OS-CFAR (Ordered Statistics-CFAR). The results show that the combination achieved demonstrates that the new detector reach high and robust performances in both homogenous environment and in the presence of interference compared to CA-CFAR and OS-CFAR performances.

Key words: Radar, Detection, CFAR.

RÉSUMÉ :

Les conditions de détection Radar sont très variables et dépendent largement de l'environnement ambiant. Les performances de détection sont souvent caractérisées par de notables diminutions dans des environnements très dégradés. Ce problème peut être persisté même par un arrangement d'un seuil de détection approprié (adaptatif) via l'utilisation d'un taux de fausse alarme constant (CFAR). L'objectif de notre projet est l'étude et la simulation de détection combinée de cibles Radar., nous étudions un nouveau détecteur CFAR conçu pour des milieux homogènes et non homogènes nommés C-CFAR (Combined-CFAR). Cette nouvelle stratégie est basée sur la combinaison des deux détecteurs CA-CFAR (Cell Averaging-CFAR)et OS-CFAR (Ordered Statistics-CFAR).Les résultats démontrent que la combinaison réalisée parvient de hautes et robustes performances tant dans un environnement homogène qu'en présence d'interférences en les comparant à celles de CA-CFAR et OS-CFAR.

Mots clés : Radar, Détection, CFAR.

Liste des symboles

dB	Décibels
B	Bruit
C	Célérité de lumière
D	Distance antenne cible
D_k	Degré d'homogénéité
H₀	Représente l'hypothèse de l'existence du bruit seul
H₁	Représente l'hypothèse de l'existence du signal plus bruit
PDF	Fonction Densité de probabilité
P_d	Probabilité de détection
P_{fa}	Probabilité de fausse alarme
Z	L'estimé du CFAR
S	Rapport signal sur bruit
N	Nombre de cellules de référence
CFAR	Constant False Alarm Rate
CA-CFAR	Cell Averaging CFAR
SO-CFAR	Smallest Of CFAR
GO-CFAR	Greatest Of CFAR
OS-CFAR	Ordered Statistics CFAR
C-CFAR	Combined CFAR
U, V	Demi-fenêtre de référence
T_{ca}	Facteur d'échelle du détecteur CA-CFAR
T_c	Facteur d'échelle du détecteur C-CFAR
T_{os}	Facteur d'échelle du détecteur OS-CFAR

TABLE DES MATIÈRES

→ COUVERTURE	
→ DÉDICACE.....	i
→ REMERCIMENT.....	ii
→ RÉSUMÉ.....	iii
→ TABLE DES SYMBOLES.....	v
→ TABLE DES MATIÈRES.....	vi
→ TABLE DES FIGURES.....	x
→ LISTE DES TABLEAUX.....	xiii
→ INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	01

Chapitre I

GÉNÉRALITÉS SUR LE SYSTÈME

RADAR


 Historique du Radar	06
I.1 Introduction	07
I.2 Composants d'un Radar.....	08
I.3 Principe de fonctionnement d'un Radar.....	09
I.4 Différents types de Radars :	
I.4.1 Le Radar à onde continue.....	09
I.4.2 Le Radar à impulsion.....	10
I.4.3 Le Radar panoramique.....	10
I.4.4 Le Radar de poursuite.....	10
I.4.5 Le Radar de sitometrie (radioaltimètre)	10
I.4.6 Le Radar transhorizon.....	11

TABLE DES MATIÈRES

I.4.7 Le Radar illuminateur.....	11
I.4.8 Le Radar à bruit.....	11
I.5 Clutter et bruit	
I.5.1 Définition de Bruit.....	11
I.5.2 Définition de Clutter.....	12
I.5.2 Types de clutter (fouillis).....	12
I.6 Équation radar.....	13
I.7 Ambiguïté en distance.....	15
I.8 Radar et effet Doppler	15
I.9 Modèles de cibles fluctuantes	
I.9.1 Modèle 1 de Swerling.....	17
I.9.2 Modèle 2 de Swerling.....	18
I.9.3 Modèle 3 de Swerling	18
I.9.4 Modèle 4 de Swerling	19
I.9.5 Modèle 0 ou 5 de Swerling	19
I.10 Phases de traitement de signal Radar.....	20
I.11 Conclusion.....	21

Chapitre II

TECHNIQUE DE DÉTECTION RADAR

II.1 Introduction.....	23
II.2 Critères de décision.....	24
II.2.1 Critère de Bayes.....	26
II.2.2 Critère de Neyman-Pearson.....	27
II.3 Techniques de détection.....	28

II.3.1 Détection optimale	30
II.3.2 Détection a seuil fixe	32
II.3.3 Détection a seuil adaptatif.....	34
II.3 Conclusion.....	35

Chapitre III

DÉTECTION A TAUX DE FAUSSE ALARME CONSTANT CFAR

III.1 Introduction	37
III.2 Etude de détecteur CFAR.....	37
III.2.1 Définition CFAR.....	37
III.2.2 Principe de fonctionnement.....	38
III.2.3 Environnement :	41
III.2.3.1 Environnement homogène.....	41
III.2.3.2 Environnement non homogène.....	41
➤ Cible interférente	42
➤ Bord de clutter	43
III.3 Etude de quelques types de CFAR.....	45
III.3.1 Le CA-CFAR.....	45
III.3.1.1 Définition	45
III.3.1.2 Etude probabiliste.....	46
III.3.1.3 Simulation.....	49
➔ Etat de l'art du SO-CFAR et GO-CFAR.....	53
III.3.2 L'OS-CFAR.....	54

III.3.2.1 Définition	54
III.3.2.2 Etude probabiliste.....	55
III.3.2.3 Simulation.....	57
III.4 Comparaison CA-CFAR/OS-CFAR.....	60
III.5 Conclusion.....	62

Chapitre IV

ÉTUDE DU DÉTECTEUR PROPOSÉ C-CFAR

IV.1 Introduction	64
IV.2 Principe de fonctionnement.....	65
IV.3 Étude de coefficient β	68
IV.4 Facteur d'échelle.....	71
IV.5 Simulation et comparaison.....	72
IV.5.1 Simulation et comparaison du seuil de détection	73
IV.5.2 Simulation et comparaison de la probabilité de détection en fonction du SNR	75
IV.6 Conclusion.....	78
→ CONCLUSION GÉNÉRALE.....	79
→ Annexe A.....	82
→ Bibliographie	87

Liste des figures :

Fig I.1: Radar, 120 ans de développement	07
Fig I.2: Radar.....	07
Fig I.3: Schéma synoptique d'un Radar.....	07
Fig I.4: Illustration de l'ambiguïté en distance.....	14
Fig I.5: modèles de surface équivalente.....	14
Fig I.6: Swerling 1.....	16
Fig I.7: Swerling 2.....	17
Fig I.8: Swerling 3.....	17
Fig I.9: Swerling 4.....	17
Fig I.10: Swerling 5.....	18
Fig I.11: La phase du traitement en générale de signal radar	18
Fig I.12: les différentes phases de traitement de signal rad.....	19
Fig II.1: Équation Radar et détection.....	23
Fig II.2: principe de détection.....	28
Fig II.3: Structure du volume de surveillance d'un radar.....	29
Fig II.4: Diagramme d'un détecteur classique.....	31
Fig II.5: Principe de la détection à seuil fixe.....	33
Fig II.6: Principe de la détection à seuil adaptatif.....	35
Fig III.1: Diagramme d'un détecteur adaptatif	39
Fig III.2: Schéma d'une fenêtre de référence	39
Fig III.3: Processeur CFAR	40
Fig III.4: Fenêtre de référence balayant un environnement non homogène...	42
Fig III.5: Illustration de cible interférente.....	43

Fig III.6: Différentes situations d'environnements non homogènes.....	43
Fig III.7: Processeur CA-CFAR	46
Fig III.8: Évolution du seuil du détecteur CA-CFAR selon le degré d'homogénéité de l'environnement.....	50
Fig III.9: Probabilité de détection du CA-CFAR en fonction du rapport signal sur bruit avec P_{fa} comme paramètre $N=24$	51
Fig III.10: Probabilité de détection du CA-CFAR en fonction du rapport signal sur bruit avec P_{fa} comme paramètre $N=16$	51
Fig III.11: Probabilité de détection du CA-CFAR en fonction du rapport signal sur bruit avec N comme paramètre.....	52
Fig III.12: Processeur OS-CFAR.....	55
Fig III.13: Évolution du seuil du détecteur OS-CFAR selon le degré d'homogénéité de l'environnement.....	58
Fig III.14: Probabilité de détection de l'OS-CFAR en fonction de SNR (40) avec P_{fa} comme paramètre.....	59
Fig III.15: Probabilité de détection de l'OS-CFAR en fonction de SNR (70) avec P_{fa} comme paramètre.....	59
Fig III.16: Probabilité de détection de l'OS-CFAR en fonction de SNR (70) avec N comme paramètre.....	60
Fig III.17: Probabilité de détection de l'OS-CFAR en fonction de SNR (40) avec N comme paramètre	60
Fig III.18: Comparaison des probabilités de détection du CA-CFAR et de l'OS-CFAR en environnement homogène.....	61
Fig IV.1: Processeur C-CFAR.....	65
Fig IV.2: Illustration de l'étape 1 du calcul de β	67
Fig IV.3: Variations du seuil de C-CFAR selon β	69

Fig IV.4 : Évolution du seuil du détecteur CA-CFAR selon le degré d'homogénéité de l'environnement.....	73
Fig IV.5 : Comparaison entre le C-CFAR et le CA CFAR et l'OS-CFAR En termes de seuil de détection	74
Fig IV.6:Comparaison des probabilités de détection de CA-CFAR, OS-CFAR et C-CFAR dans un milieu homogène.....	75
Fig IV.7:Comparaison des probabilités de détection de CA-CFAR, OS-CFAR et C-CFAR dans un milieu non homogène en présence une cible interférente.....	76
Fig IV.8:Comparaison des probabilités de détection de CA-CFAR, OS-CFAR et C-CFAR dans un milieu en présence de 3 cibles interférentes.	77
Fig IV.9:Comparaison des probabilités de détection de CA-CFAR, OS-CFAR et C-CFAR dans un milieu en présence de 5 cibles interférentes.	78
A.1 - Abaque de T pour $Pfa= 10^{-2}, 10^{-3}$	83
A.2 - Abaque de T pour $Pfa= 10^{-3}, 10^{-4}$	83
A.3 - Abaque de T pour $Pfa= 10^{-4}, 10^{-5}$	84
A.4 -Abaque de T pour $Pfa= 10^{-5}, 10^{-6}$	84
A.5 - Abaque de T pour $Pfa= 10^{-6}, 10^{-7}$	85
A.6 - Abaque de T pour $Pfa=10^{-7}, 10^{-8}$	85
A.7 -Abaque de T pour $Pfa= 10^{-8}, 10^{-9}$	86
A.8 - Abaque de T pour $Pfa=10^{-9}, 10^{-10}$	86

Liste des tableaux

TabII.1 Erreur de détection.....	33
TabIII.1 Valeurs du facteur d'échelle du CA-CFAR.....	49
TabIII.2 Valeurs du facteur d'échelle de l'OS-CFAR pour $k=0,75N$	57
TabIV.1 Moyenne de β pour différentes valeurs de N lorsqu'il y a du bruit seul.....	70
TabIV.2 Moyenne de β pour différentes valeurs de N en présence d'une seule cible interférente de SNR = 15 dB.....	70
TabIV.3 Valeurs du facteur d'échelle du C-CFAR pour $K = KOS = 0,75N$	72

INTRODUCTION GÉNÉRALE

→ Motivation

L'histoire du Radar est une branche de l'histoire de l'électronique qui devient un des fondements de la stratégie militaire du XXe siècle. Les premières décennies du XXème siècle voyaient plusieurs découvertes en électronique rendant possible le développement d'un système opérationnel, juste à temps pour la Seconde Guerre mondiale. Le Radar a joué un rôle crucial dans le conflit, et a probablement eu une contribution plus importante pour la victoire des Alliés que la bombe atomique. L'expérience acquise pendant le conflit par un grand nombre de chercheurs a permis d'élargir l'utilisation du Radar à d'autres domaines que le militaire tels que: l'aviation civile, le contrôle maritime, la détection météorologique, les détecteurs de vitesse de nos routes, ...etc.

Avec la progression de la technologie tout-au-long les dernières cinquante années, le concept du radar n'a cessé de se développer, et il est devenu un outil indispensable de surveillance quelque soit les variations du milieu.

Dans les systèmes radar, on cherche toujours à optimiser les performances de détection adaptativement aux changements de l'environnement, alors que le problème dans ces systèmes revient à observer le signal reçu et à prendre une décision sur la présence ou l'absence d'une cible. La prise de décision est basée sur des tests qui doivent aboutir à une détection adaptative. Le changement de l'état de l'environnement peut faire augmenter sensiblement la puissance du bruit, ce qui conduit intolérablement à une augmentation indésirable de la probabilité de fausse alarme (Pfa) qui provoque ainsi une saturation du PPI (Plan Position Indicator) en premier lieu et du système radar en général. C'est à cause de cette situation que les chercheurs se sont penchés sur la solution adaptative qui signifie une utilisation d'un seuillage adaptatif au niveau du bruit et des signaux indésirables avec le maintien de la probabilité de fausse alarme constante.

→ Problématique

La tendance pour les systèmes radars allant simultanément vers une couverture parfaite ou idéale du milieu entouré, qui consiste à prévenir une détection optimale des cibles, quelque soit la situation présente dans le milieu sachant que les conditions de détection sont variables et dépendent de l'environnement que se soit homogène ou non homogène (présence de clutter ,cibles interférentes) de ce fait, dans beaucoup de cas les performances de détection diminuent dans des environnement très dégradés (le rapport signal à bruit peut être très faible, présences de brouilleurs), cette situation peut être résolue par un arrangement d'une manière adaptative du seuil de détection par l'utilisation d'un taux de fausse alarme constant (CFAR), mais les problèmes peuvent persister. Il apparaît que l'utilisation de nouveaux détecteurs qui dérivent bien sur du détecteur CFAR constitue des solutions pour chaque situation qui peut rencontrer le système Radar.

→ Objectifs

Dans le cadre de ce travail, on a traité la problématique d'améliorer et de perfectionner la qualité de la détection avec une technique CFAR développée dans le but d'accroître non seulement les performances mais aussi la sécurité de la navigation aérienne et/ou maritime. L'objectif de notre sujet est l'étude d'un nouveau détecteur combinée de cibles radar, qui offre des avantages intéressants par rapport aux techniques de détections et pourrait révolutionner le domaine de détection par la combinaison de plusieurs détecteurs.

→ Contributions

Nous avons proposé dans cette thèse un nouveau détecteur CFAR, basé sur la combinaison de deux détecteurs qui sont le CA-CFAR et l'OS-CFAR fonctionnant selon les situations observées dans l'environnement.

→ Organisation de mémoire

Notre projet vise principalement à l'exploration des techniques de détection appliquées dans les systèmes radars modernes. Et à cet effet, avant de plonger dans le domaine de détection radar, il fallait d'abord qu'on illumine le concept du radar. Pour cela nous avons consacré le premier chapitre pour présenter des généralités sur les radars, avant de passer à une étude sur les différentes techniques de détection utilisées.

Après un bref historique on a opté à fragmenter le chapitre I en deux parties la première destinée pour les généralités sur les radars suivie par une deuxième partie destinée pour les techniques de détection .

Dans le troisième chapitre, on présente le détecteur CFAR et son principe de travail, puis on fait une étude et une analyse des détecteurs CA-CFAR et OS-CFAR et entre les deux on donne un état de l'art des détecteur SO et GO CFAR. On a fait une contribution des seuils pour les deux détecteurs CA et OS CFAR et en termes de probabilité de détection, et à la fin du chapitre on effectue une comparaison entre les deux.

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude des performances du nouveau détecteur combiné (C-CFAR) contribution de son seuil de détection, et de les comparer à celles des détecteurs OS-CFAR et CA-CFAR dans différentes situations.

Et finalement, une conclusion générale pour l'ensemble du mémoire et une suggestion pour des futurs travaux.

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LE SYSTÈME RADAR

Résumé :

Après une brève historique ce chapitre introduira les notions de base du système radar, ces composants, son principe de fonctionnement ainsi une citation de différents types passant par une définition du clutter et du bruit. Aussi on parle sur l'équation radar, les modèles de cibles fluctuantes Swerling, l'effet doppler, et ensuite on cite généralement les parties du traitement de signal radar sachant que notre projet vise une partie de ce traitement.

Historique du Radar

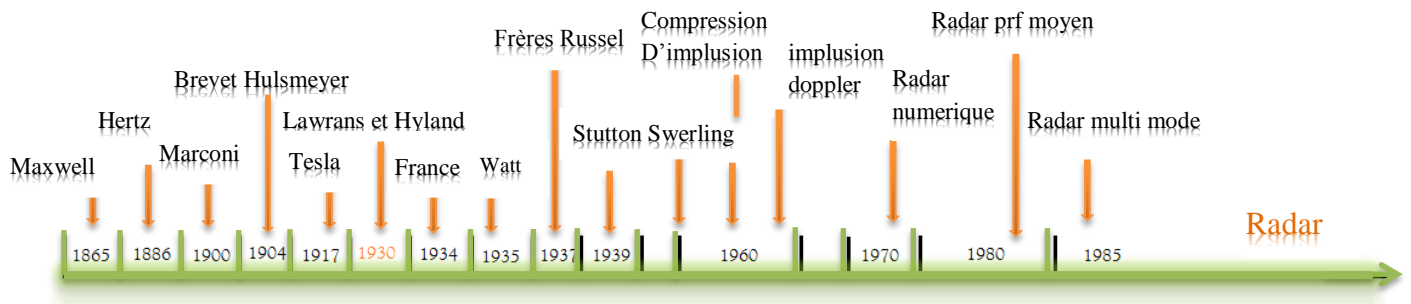


Figure I.1 : Radar, 120 ans de développement

L'histoire du RADAR actuel était initiée au 19^{ème} siècle. En 1864 James Clark maxwell décrit les lois de l'électromagnétisme, ce qui permet. En 1888, Heinrich Rudolf hertz montre que les ondes électromagnétiques sont réfléchies par les surfaces métalliques. Au début du XX siècle, le développement de la radio et de la TSF (par Marconi, entre autres) permet de développer les antennes nécessaires à l'utilisation du radar.

Plusieurs inventeurs, scientifiques, et ingénieurs ont contribué ensuite au développement du concept du radar. Les fondements théoriques datent de 1904 avec le dépôt du brevet du « Telemobiloskop » par l'allemand Christian Hulsmeyer brouillard. Celui-ci a démontré la possibilité de détecter la présence de bateaux dans un espace très obscure. En envoyant une onde à l'aide d'une antenne multipolaire, son système notait le retour depuis un obstacle avec une antenne dipolaire sans pouvoir cependant en définir plus qu'un azimuth approximatif et aucunement sa distance. C'était donc le RAD (radio détection) mais pas l'AR (azimut et rayon). On peut considérer que l'architecture des radars était quasiment finalisée à l'aube de la Seconde Guerre mondiale. Il manquait cependant l'expérience opérationnelle au combat qui a poussé les ingénieurs à trouver de nombreuses améliorations techniques. Ainsi, les radars aéroportés ont été développés pour donner la possibilité à l'arme aérienne de procéder aux bombardements et à la chasse de nuit. On mena également des expériences sur la polarisation.

Après les années 30, les opérateurs des radars micro-ondes des armées remarquèrent du bruit dans les images, qui s'avérèrent être des échos venant de précipitations (pluie, neige, etc.). Ceci a permis le développement d'une autre fonction du RADAR qui est le radar météorologique

De là, ont été mis au point les premières techniques de brouillage et de contre-mesures électroniques. Après cette guerre, de nombreux domaines ont été développés pour le RADAR, par exemple : l'astrométrie, le contrôle routier et aérien, etc.

Dans les années cinquante, l'invention du radar à synthèse d'ouverture a balisé la voie vers l'obtention d'images RADAR à très haute résolution. Cooley et Tuckey redécouvrent la transformée de Fourier rapide en 1965. Son intérêt a été grandissant avec l'avènement et la progression de l'outil informatique de plus en plus puissant. Cet algorithme mathématique est à la base de la plupart des traitements RADAR numériques utilisés aujourd'hui.

I.1 Introduction

Radar (radio detection and ranging) que l'on peut traduire par détection et estimation de distance par les ondes radio ou simplement radio repérage. Ce terme a été utilisé pour la première fois par l'armée américaine pendant la seconde guerre mondiale. Il s'agit d'un système électromagnétique destiné à la détection et la localisation des cibles qui peuvent être (avions civils ou militaires, bateaux, ou encore la pluie ...), le radar envoie des ondes électromagnétiques et analyse les échos renvoyés par les cibles qu'on vient de mentionner précédemment.



Figure I.2 : Antenne Radar

I.2 Composants d'un Radar

Le RADAR comporte les éléments de la figure I-1

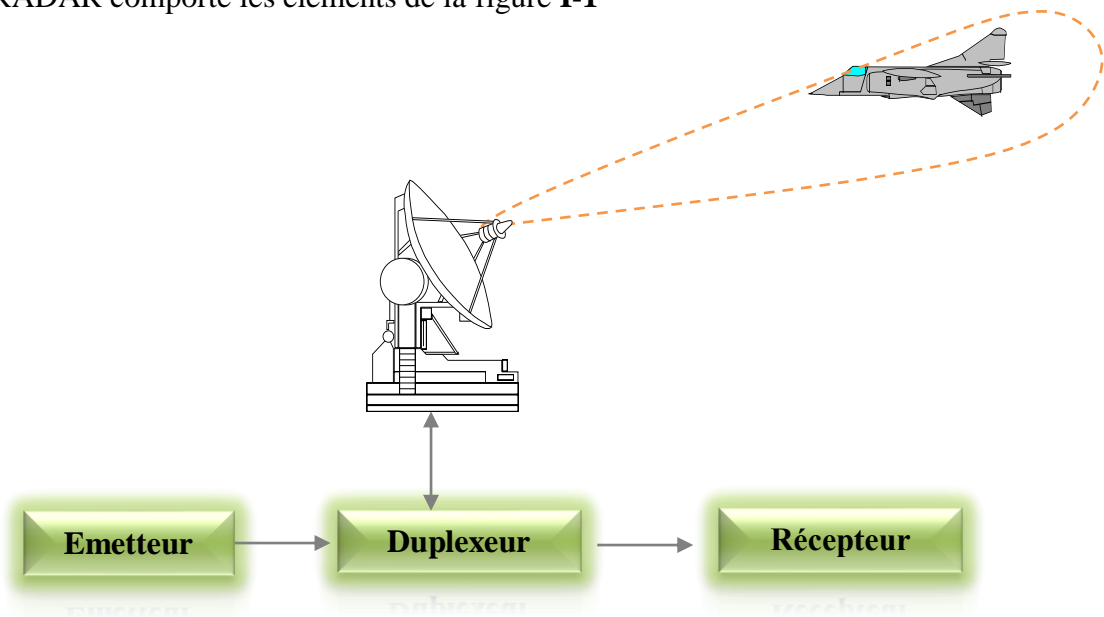


Figure I.3 : synoptique d'un Radar.

➤ **L'émetteur :**

C'est un appareil qui génère des ondes radios à des fréquences de l'ordre du GHz, et des puissances désirées dans un tube d'émission.

➤ **Le duplexeur :**

C'est un commutateur électronique qui dirige l'onde vers l'antenne avec un minimum de pertes lors de l'émission, ou le signal de retour depuis l'antenne vers le récepteur lors de la réception toujours avec un minimum de pertes. Il est utilisé dans un RADAR monostatique.

➤ **L'antenne :**

C'est l'organe de diffusion et de réception de l'onde électromagnétique vers la cible ou vers l'espace voulu.

L'antenne est caractérisée par sa directivité et son gain maximal dans la mesure où la réception aura une meilleure portée que l'émission vers une direction privilégiée. La directivité de l'antenne est influencée par la longueur d'onde du signal émis et des dimensions de l'antenne.

➤ **Le récepteur :**

C'est un organe important du RADAR, car il permet de recevoir les différents signaux provenant de l'antenne en passant par le duplexeur. Il fait émerger les bruits radios parasites, les amplifie, et les traite. Les étapes du récepteur permettent de donner en fin du parcours des précisions utiles à l'opérateur. Ces étapes sont traitées par un logiciel de sondage pour obtenir des données qui seront affichées aux utilisateurs.

I.3 Principe de fonctionnement d'un Radar

Le système radar travaille sur le principe qu'un émetteur émet dans son environnement un faisceau d'ondes radioélectriques et attend qu'ils se réfléchissent par la cible et se détectent par un récepteur pour donner des informations tels que : la position qu'elle est estimée à partir du calcul de temps de retour de signal ce qui indique aussi la distance si (ΔT) est la différence entre les instants d'émission et de réception et c la célérité des ondes radio dans l'air, la distance d de la cible au radar, en supposant que l'émetteur et le récepteur soient au même endroit, est donnée par la relation :

$$d = \frac{C \times \Delta T}{2} \quad (I.1)$$

À partir du temps de retour de signal on peut aussi indiquer la position angulaire de l'antenne, la vitesse est mesurée à partir du changement de fréquence du signal par l'effet doppler.

I.4 Différentes types de Radars :

Il existe plusieurs types de Radars que, parmi eux :

I.4.1 Le Radar à onde continue

Un RADAR à onde continue émet une onde entretenue dont le spectre est d'autant plus étroit que la fréquence d'émission est stable. Au niveau de l'antenne il est nécessaire de dissocier l'émission de la réception afin de préserver l'intégrité du récepteur au cours de l'émission. L'antenne d'émission et l'antenne de réception doivent être bien découplées.

En émettant une sinusoïde pure, la mesure de distance est impossible mais il est possible de faire une mesure dont la précision est liée à la durée de la mesure.

I.4.2 Le Radar à impulsion

Un RADAR à impulsions consiste à envoyer des paquets d'onde électromagnétique à intervalles réguliers (à une fréquence de répétition *PRF*).

Lorsque l'onde émise intercepte un objet, une partie de son énergie est renvoyée vers l'antenne du radar : on dit qu'elle est rétrodiffusée. Grossièrement, la mesure du temps écoulé entre l'émission de l'onde et sa réception permet de localiser la cible : Cette dernière se trouve à une distance du radar égale à la moitié de la célérité de la lumière multipliée par cet intervalle de temps. La mesure de l'amplitude du signal reçu permet de caractériser de façon plus ou moins précise la nature de la cible (une cible parfaitement réfléchissante renvoie plus d'énergie qu'une cible peu réfléchissante). Enfin, la mesure de la différence de phase entre le signal émis et le signal reçu permet d'évaluer le décalage en fréquence au déplacement de la cible selon l'axe de visée (l'effet Doppler), et ainsi de déduire la vitesse radiale de cette cible.

La portée maximale théorique du RADAR est égale à la moitié de la célérité de la lumière divisée par la fréquence de répétition.

I.4.3 Le Radar panoramique

Il est caractérisé par une antenne large tournant autour d'un axe vertical, qui lui permet de déterminer la position géographique du point à la verticale duquel il se trouve. Certains de ces Radars sont assez perfectionnés pour mesurer également l'altitude des objectifs, on les désigne alors sous le nom de Radars de veille tridimensionnels.

I.4.4 Le Radar de poursuite

Cet appareil est équipé de servomécanismes qui lui permettent de maintenir l'axe de l'antenne dans la direction d'un objectif donné et donc de le poursuivre quelque soient les mouvements de celui-ci. Il permet ainsi de guider les canons de défenses aériennes ou des missiles sur une cible « accrochée » par le RADAR.

I.4.5 Le Radar de sitométrie (radioaltimètre)

Il est utilisé lorsque l'on souhaite connaître l'altitude de la cible. L'antenne utilisée est plus haute que large. La mesure de site et la distance radiale permettent le calcul de l'altitude d'une cible à un instant donné.

I.4.6 Le Radar transhorizon

Il travaille au-dessous de la fréquence critique de 3MHz à partir de laquelle les ondes se réfléchissent sur l'ionosphère suivant la courbe de la terre. De tels Radars ont une portée de 1000 à 3000 Km, si proche du sol que les vols en rasemottes sont détectés [2].

I.4.7 Le Radar illuminateur

Il émet une onde continue vers la cible et vers le missile. Le missile reçoit l'illumination provenant directement du tireur sur sa voie arrière alors qu'il reçoit celle réfléchi par la cible sur sa voie avant. Par démodulation il en déduit une vidéo bipolaire qu'il soumet à une batterie de filtres qui permettent de mesurer la fréquence Doppler correspondante à la vitesse radiale relative cible-missile.

I.4.8 Le Radar à bruit

Un RADAR à bruit émet un bruit dont la densité spectrale de puissance moyenne est sensiblement constante dans la bande passante de son récepteur; il ne servirait à rien de gaspiller de la puissance en émettant des composantes spectrales qui seraient rejetées par le récepteur.

I.5 Clutter et Bruit

Dans les Radars modernes de poursuite et de surveillance, la déclaration de la présence ou de l'absence d'une cible est faite sur la base d'une comparaison du signal des échos reçus par rapport à un seuil prédéfini. Ce signal est généré de trois différentes sources :

- De la cible;
- Du bruit thermique;
- Du clutter environnant.

I.5.1 Définition de Bruit

En réalité le signal traité par le détecteur pour décider est toujours accompagné d'un bruit de fond de nature aléatoire, L'existence de ce bruit confère une nature statistique au problème de la détection radar.

Ce bruit de fond est constitué de deux types de bruit [3]: le premier, présent dans tous les dispositifs physiques, est le résultat des interférences de signaux parasites provenant de différentes sources telles que le bruit thermique dans les systèmes de température absolue

supérieure à zéro, le bruit produit par les radiations venant de l'environnement externe, le bruit généré par les semi-conducteurs, etc. ; le deuxième type de bruit est appelé fouillis.

I.5.2 Définition de Clutter

Le fouillis désigne les échos produits par des cibles indésirables telles que le sol, la mer, la pluie, etc. Il résulte d'une agrégation des échos émanant de petits mais nombreux réflecteurs, telles que les gouttes de pluies, les vagues marines, les insectes en nuées, etc. La définition du fouillis dépend du type de cibles recherchées par le radar. Si pour un radar les cibles utiles sont des avions, la pluie est un fouillis pour lui ; par contre, un radar météorologique considère la pluie comme une cible utile et un avion représente pour lui un fouillis.

Si l'écho d'une cible est noyé dans un fouillis, le radar risque de rater sa détection comme il risque de donner une série de fausses alarmes en considérant le fouillis comme un ensemble de cibles. La détection dans un environnement de fouillis est un problème primordial des radars modernes et elle continue à faire l'objet de recherches tant que les détecteurs existants actuellement ne sont pas adaptés à toutes les situations.

I.5.2 Types de clutter (fouillis)

- **Le fouillis de sol (ou de la terre)**

Il dépend de la réflectivité, de la nature du sol ou terrain (ex : fouillis ponctuel produit par les bâtiments, etc.).

- **Le fouillis de mer**

L'état de la mer est lié à la force du vent. Il peut être considéré comme un conducteur imparfait pour une certaine gamme de fréquence. Les éléments de la mer font qu'elle soit un générateur de parasites redoutables pour les Radars.

- **Le fouillis atmosphérique**

Le fouillis atmosphérique est représenté par :

- ❖ Fouillis de pluie;
- ❖ Fouillis de neige;
- ❖ Fouillis de nuage;
- ❖ Fouillis de brouillard.

- Les échos indésirables dus aux oiseaux, aux insectes, et aux effets de réfraction de l'atmosphère sont aussi un autre genre de fouillis.

Parfois pour occulter des Radars, on largue dans le ciel des paillettes légères dont la longueur d'onde est adaptée à la longueur d'onde des Radars. On appelle ce type de fouillis «Le Chaff».

De ces types, trois classes de clutter peuvent être distinguées :

- Le clutter à distribution homogène comme le clutter de mer non agitée, de la pluie, de la neige et le clutter des chaffs.
- Le clutter à distribution non homogène comme le clutter de sol et la mer non agitées.
- Le clutter ponctuel qui est dû aux essaims d'oiseaux, aux éléments terrestres et aux surfaces des véhicules.

I.6 Équation Radar

L'équation radar permet de calculer la portée d'un radar connaissant les caractéristiques techniques des éléments intervenant dans la transmission, à savoir les constituants du radar, la cible et le milieu de transmission entre la cible et le radar.

Cette équation peut être obtenue de la manière suivante. Supposons que l'antenne émettrice du radar soit isotrope, c'est-à-dire rayonne avec la même intensité dans toutes les directions de l'espace. Si l'on désigne par P_t la puissance émise par cette antenne, alors la densité surfacique de puissance W_{iso} à la surface d'une sphère centrée à l'antenne émettrice et de rayon R_1 quelconque ne dépend pas de la direction de l'espace considérée et s'écrit :

En pratique, l'antenne radar n'est pas isotrope mais directive : elle rayonne plus de puissance dans certaines directions que dans d'autres. On dit qu'elle a un gain. Pour définir le gain, considérons deux antennes, l'une isotrope et l'autre quelconque situées au même point de l'espace et émettant la même puissance.

$$W_{iso} = \frac{P_t}{4\pi R_1^2} \quad (I.2)$$

Le gain de l'antenne quelconque est alors le quotient de sa densité surfacique maximale de puissance à la surface d'une sphère de rayon quelconque, à la densité surfacique de puissance de l'antenne isotrope sur cette même sphère. La densité surfacique de puissance W_t dans la direction du rayonnement maximum d'une antenne de gain G_t s'écrit donc d'après l'équation (I.2) :

$$W_t = W_{iso} G_t = \frac{P_t G_t}{4\pi R_1^2} \quad (I.3)$$

Une cible de SER sigma σ située à la distance R_1 de l'antenne émettrice reçoit ainsi une puissance :

$$P_{r(cible)} = W_t \sigma = \frac{P_t G_t \sigma}{4\pi R_1^2} \quad (I.4)$$

En supposant que la puissance $P_r(cible)$ reçue par la cible soit réémise comme une antenne isotrope, la puissance reçue par l'antenne réceptrice, située à la distance R_2 de la cible et possédant une aire équivalente A_e , est :

$$P_r = P_{r(cible)} \frac{A_e \sigma}{4\pi R_2^2} \quad (I.5)$$

Or l'aire équivalente A_e est liée au gain G_r de l'antenne réceptrice par la relation [3] :

$$A_e = \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} \quad (I.6)$$

Où λ est la longueur d'onde de travail du radar. L'équation radar s'obtient en substituant les équations (1.4) et (1.6) dans (1.5) :

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R_1^2 R_2^2} \quad (I.7)$$

L'équation radar (I.7) est celle d'un radar bistatique, c'est-à-dire d'un radar dont les antennes émettrice et réceptrice sont séparées, éventuellement situées dans des endroits différents. Dans le cas d'un radar monostatique, qui est un radar dont l'antenne est à la fois émettrice et réceptrice, l'équation (I.7) se simplifie car $R_1 = R_2 = R$ et $G_t = G_r = G$:

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (I.8)$$

Ainsi, si $P_{r(min)}$ est la puissance minimale détectable par le récepteur, alors la portée R_{max} du radar a pour expression

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 P_{r(min)}}} \quad (I.9)$$

I.7 Ambiguïté en distance

Les émissions du radar sont périodiques et constituées d'un court intervalle τ pendant lequel l'émission proprement dite se fait et d'une longue période d'attente d'un écho éventuel. Supposons qu'après deux émissions successives le radar ait reçu un écho (**Figure I.2**) Cet écho peut bien correspondre à la première émission comme à la deuxième émission, mais le radar considère naturellement qu'il s'agit d'un écho de la dernière émission. Il calcule donc la distance de la cible et trouve R_2 , alors que la distance R_1 convient aussi.

D'une manière générale, toutes les distances de la forme $R_2 + k (R_2 - R_1)$, où k est un entier positif, sont candidates. Il est ainsi à priori impossible de trancher sur la bonne distance : on dit qu'il y a une ambiguïté en distance.

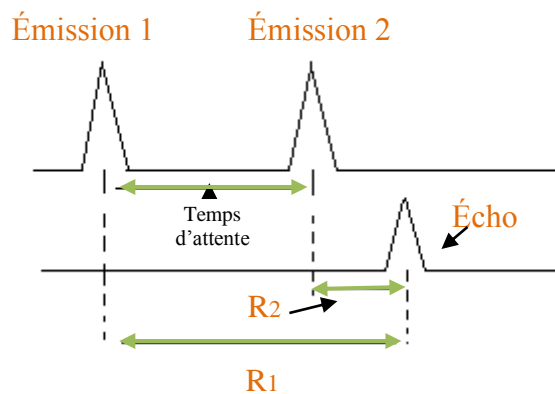


Figure I.4: Illustration de l'ambiguïté en distance.

Afin d'éviter cette ambiguïté, il est nécessaire de prendre la période de récurrence des émissions de telle sorte que l'écho des cibles situées au-delà de $R_2 - R_1$ ne soit pas perçu.

I.8 Radar et effet Doppler

Les cibles recherchées par un radar sont généralement mobiles relativement au radar. Les ondes reçues par la cible et le radar sont donc sujettes à l'effet Doppler, qui est un phénomène qui se manifeste par un décalage entre la fréquence émise par une source et celle reçue par un observateur en mouvement relatif par rapport à la source [1]. Ce décalage de fréquence, noté f_D et appelé fréquence Doppler, est lié à la vitesse radiale v_r de l'observateur par rapport à la source par l'expression :

$$f_D = \frac{v_r}{\lambda} \quad (\text{I.10})$$

Où, λ est la longueur d'onde du signal émis.

Dans le cas du radar, ce phénomène se produit deux fois lors d'un aller-retour de l'onde.

La première fois, le radar est une source et la cible un observateur, ce qui entraîne le décalage donné par (I.10) ; la seconde fois, la cible devient une source et le radar un observateur, ce qui donne un deuxième décalage égal au premier. Le décalage total est donc la somme des deux, et l'expression (I.10) devient :

$$f_D = \frac{2v_r}{\lambda} \quad (\text{I.11})$$

Dans l'équation (I.11), la vitesse v_r peut être positive ou négative. Si v_r est négative, la cible est en éloignement et la fréquence Doppler f_D est négative : la fréquence de l'écho est décalée vers le bas ; si v_r est positive, la cible est en rapprochement et la fréquence Doppler f_D est positive :

La fréquence de l'écho est décalée vers le haut ; enfin, si v_r est nulle, ce qui correspond à des cibles de distance fixe au radar (sol, bâtiments, reliefs, etc.), la fréquence de l'écho n'est pas décalée.

En pratique, la fréquence Doppler est très faible comparée à la fréquence de travail du radar car la vitesse des cibles réelles est négligeable devant celle des ondes radio. Malgré cela, des techniques pour mesurer cette fréquence existent et l'effet Doppler est exploité dans l'estimation de la vitesse et la distinction entre cibles mobiles (avions) et fixes (sol).

I.9 Modèles de cibles fluctuantes



Figure I.5: Modèles de surface équivalente

Lorsque le signal émis par un radar rencontre une cible, la puissance réfléchie par celle-ci dépend de sa surface (ou aire) équivalente radar (SER). La SER est liée à la puissance P_r reçue par la cible lorsqu'elle est immergée dans un espace où règne une densité surfacique de puissance W par l'expression :

$$P_r = A_e W \quad (\text{I.12})$$

Où A_e désigne l'aire équivalente de la cible. L'équation (I.12) montre que plus la SER est grande, plus l'amplitude du signal réfléchi est élevée.

En général, la SER d'une cible réelle n'est pas constante dans le temps lorsque celle-ci est en mouvement. Il en résulte que quand la cible entre dans le faisceau émis par le radar, elle reçoit un groupe d'impulsions pendant la durée de l'illumination, et réfléchit en conséquence un train d'impulsions dont l'amplitude fluctue plus ou moins lentement d'une impulsion à une autre.

Selon leur rapidité, on distingue deux types de fluctuations de la SER. Les fluctuations sont dites de balayage à balayage si l'amplitude des impulsions réfléchies situées dans le même groupe est constante, mais peut être variable d'un groupe à un autre, c'est-à-dire d'un balayage à un autre; elles sont d'impulsion à impulsion si cette amplitude varie d'une impulsion à une autre dans le même groupe. Dans le premier cas, la SER fluctue à chaque balayage et dans le deuxième cas à chaque impulsion.

Pour modéliser la fluctuation des cibles, il y a principalement quatre cas, dits de Swerling, correspondant à des modèles mathématiques décrivant l'enveloppe de la distribution des amplitudes des échos. Ces modèles sont numérotés de 1 à 4 avec un modèle supplémentaire 5 (ou 0) moins utilisé que les précédents [3,4].

I.9.1 Modèle 1 de Swerling :

Dans le modèle 1 de Swerling, les fluctuations sont de balayage à balayage. L'enveloppe du train d'impulsions est une variable aléatoire dont la densité de probabilité est de Rayleigh :

$$P(S) = \frac{1}{m_s} \exp\left[-\frac{S}{m_s}\right], S \geq 0, \quad (\text{I.13})$$

Où S est le rapport de puissance signal sur bruit et m_s la moyenne de S . En outre, les phases initiales des impulsions sont des variables aléatoires statistiquement indépendantes avec des densités de probabilité uniformes [5,3].

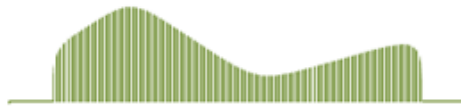


Figure I.6: Swerling 1

I.9.2 Modèle 2 de Swerling

Dans ce cas, les fluctuations sont d'impulsion à impulsion. L'amplitude de chaque impulsion, au lieu de chaque groupe d'impulsions, est une variable aléatoire indépendante de même densité que le cas 1. Les phases initiales sont aussi des variables aléatoires indépendantes avec des densités uniformes.

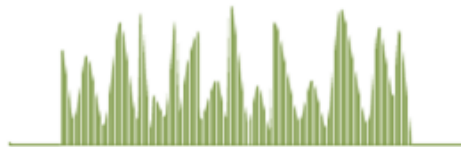


Figure I.7: Swerling 2

I.9.3 Modèle 3 de Swerling

Dans ce cas, les fluctuations sont de balayage à balayage. Le modèle 3 diffère du modèle 1 par la densité de probabilité :

$$P(S) = \frac{4S}{m_s^2} \exp\left[-\frac{2S}{m_s}\right], S \geq 0, \quad (\text{I.14})$$

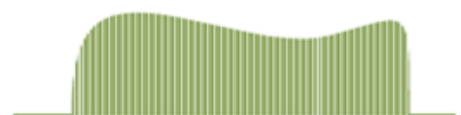


Figure I.8: Swerling 3

I.9.4 Modèle 4 de Swerling

Dans ce cas, les fluctuations sont d'impulsion à impulsion. Le modèle 4 est similaire au modèle 2 mais sa densité de probabilité est donnée par (I.14).

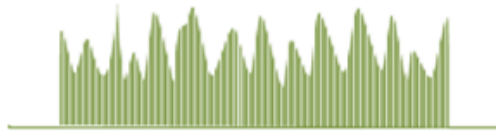


Figure I.9: Swerling 4

I.9.5 Modèle 0 ou 5 de Swerling

Le modèle 5, appelé aussi modèle 0, correspond aux cibles non fluctuantes. L'amplitude du signal reçu est supposée constante et inconnue. Ce cas est moins utilisé que les cas précédents.

En pratique, les cas 1 et 2 correspondent à des cibles constituées de nombreux réflecteurs indépendants de SER comparables (grands avions) et les cas 3 et 4 à des cibles ayant un réflecteur de SER dominante et non fluctuante avec d'autres réflecteurs plus petits et indépendants (missiles).



Figure I.10: Swerling 5

I.10 Phases de traitement de signal

Après que le radar reçoit l'écho des cibles, il y aura tout un traitement de ce signal reçu dont le but est de maximiser le rapport signal à bruit, pour faire utiliser le signal utile.

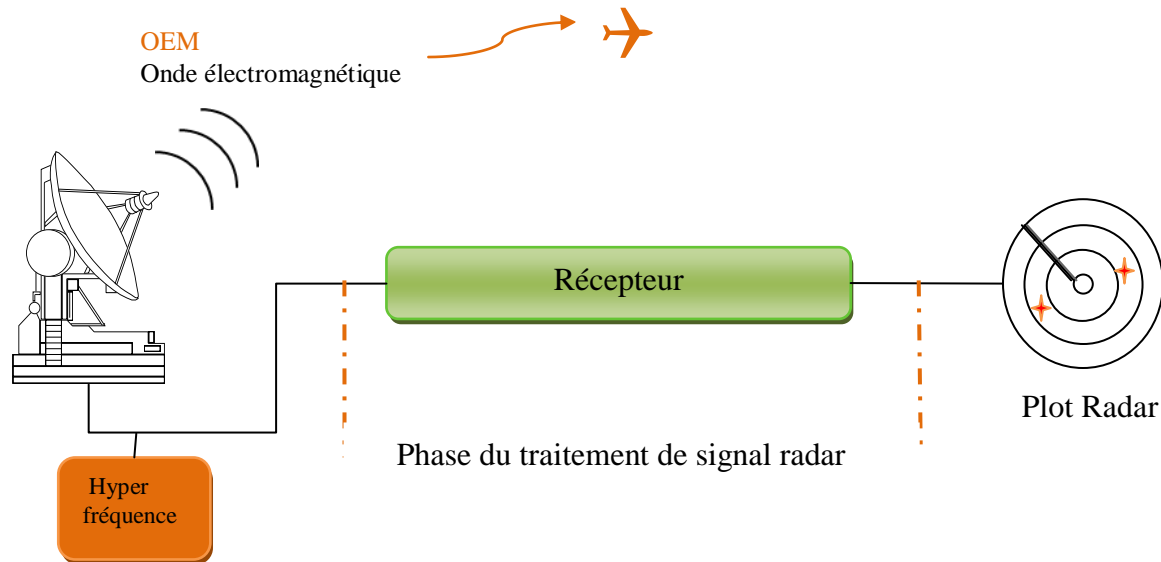


Figure I.11: la phase du traitement de signal radar

Au début le signal va subir une amplification à l'étage RF dont il est aussi filtré (bande radar). En générale parlant dès que le radar reçoit l'écho composé du signal et de bruit, il sera amplifié puis démodulé pour enlever l'enveloppe qui a servi en émission pour la transmission du signal,

le signal passe par un filtrage adapté (FA) qu'il s'agit d'une corrélation entre le signal reçu et la première impulsion émise, passant par une compression d'impulsion ; et en suite par un filtrage MTI (Moving Target Indicator) qui sert à éliminer le clutter définie comme étant cible indésirable par un filtre passe bande, puis il y aura un traitement doppler suivi d'une intégration, arrivant au détecteur CFAR ou se passe la prise de décision de la présence ou l'absence des cibles :

pour le deuxième schéma ci-dessous les étages de traitement de signal radar sont présentés: (les éléments du récepteur)

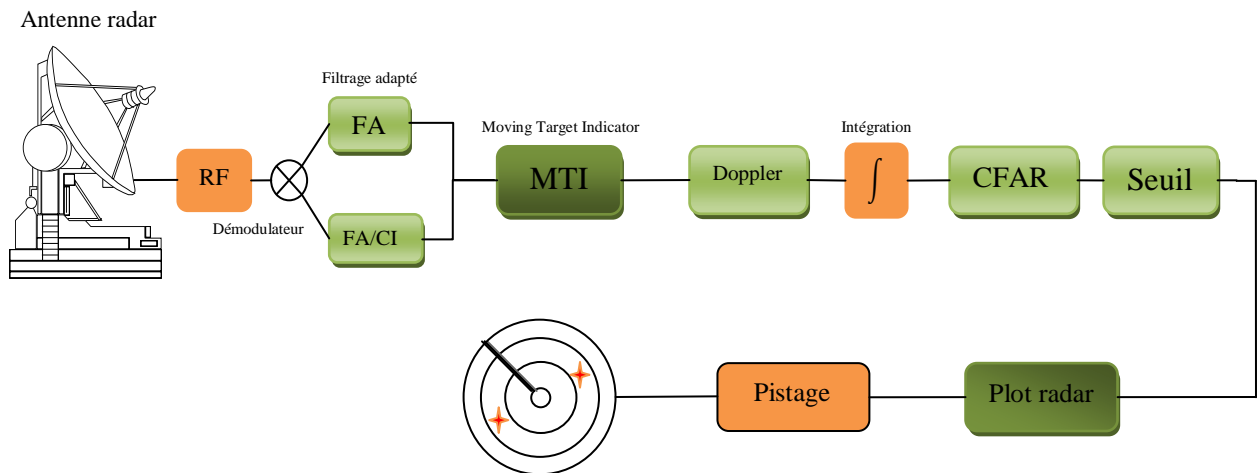


Figure I.12: Schéma présentant différentes phase de traitement de signal radar

I.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents paramètres de base d'un système Radar, les principaux constituants d'un radar sont : émetteur, récepteur, antenne, détecteur et moyen de visualisation. L'équation radar permet de calculer la portée d'un radar connaissant les caractéristiques techniques de ce dernier. L'effet Doppler permet d'estimer la vitesse radiale d'une cible et de distinguer entre cibles mobiles et fixes. Une limitation convenable de la portée d'un radar évite l'ambiguïté dans l'estimation de la distance des cibles. Les modèles de Swerling sont des modélisations des cibles fluctuantes ; ils sont utilisés dans l'estimation des performances des détecteurs radar. La décision de la présence ou non d'une cible dépend de la comparaison de l'échantillon à tester à un seuil.

Par la suite nous allons faire une étude sur les techniques d'une partie parmi les parties de traitement de signal radar c'est bien la détection.

CHAPITRE II : SYSTÈME DE DÉTECTION RADAR

Résumé :

Ce chapitre introduira les notions de base de la théorie de détection, en premier lieu les critères de décision de détection, et puis nous nous intéressons aux techniques de détection qui représente la fondation pour la suite de construction de ce projet.

II.1 Introduction

Après qu'on a étudié quelques paramètres du système en premier chapitre, on opte dans ce deuxième chapitre d'étudier une partie importante dans le système c'est bien la détection. Pour cela la figure ci-dessous représente en générale quelques parties du système radar qui sont étudiés déjà précédemment qui s'incluent dans l'équation radar, cette dernière est suivie après un traitement de signal par la partie détection qui inclue à son tour des paramètres tels que la probabilité de détection de cible, la fluctuation des cibles ...

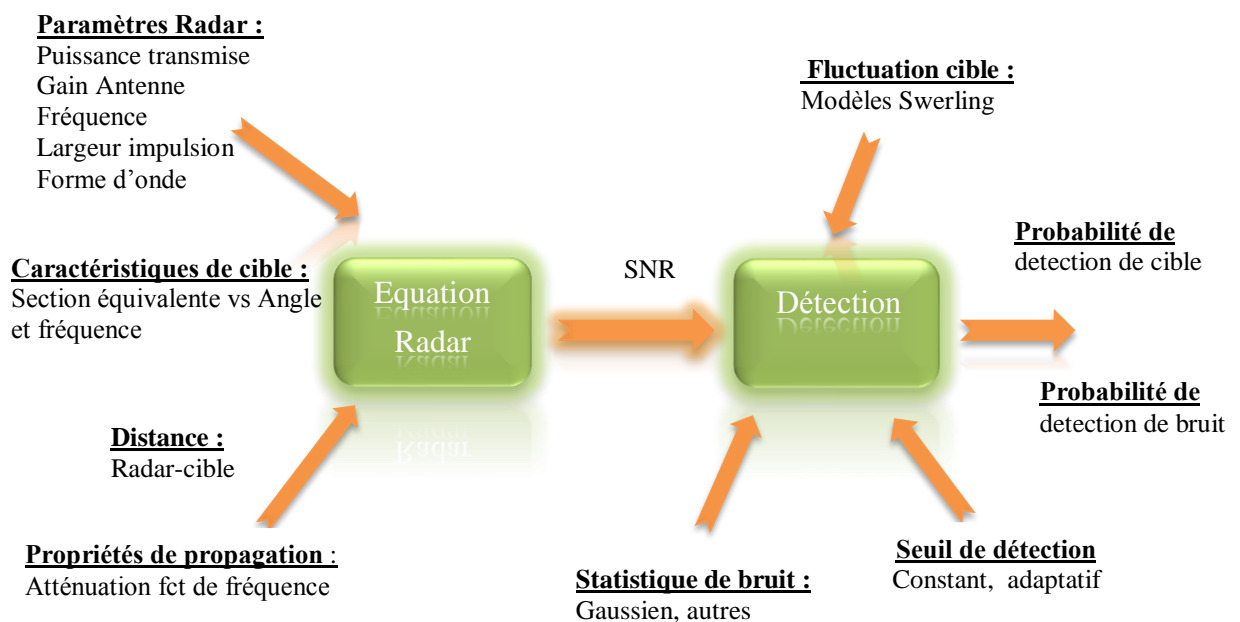


Figure II.1: Équation Radar et détection

Dans les systèmes de détection radar, le problème revient à observer le signal reçu et à prendre une décision de l'absence ou de la présence d'une cible. La prise de décision est basée sur des tests d'hypothèses, ces derniers visent à trancher entre deux hypothèses : une est appelée nulle qui signifie l'absence du signal utile et l'autre appelée alternative qui signifie la présence du signal utile, pour développer les tests statistiques de décider qu'elles hypothèses sont correctes, des différents moyens sont adoptés. Bayes et Neyman-Pearson ont initié les premiers développements dans les tests d'hypothèses. Voyant les hypothèses en terme de prise de décision c'est-à-dire présence ou absence du signal on peut noter cette opération par détection de signal binaire, appelé binaire dans le sens qu'il y a deux hypothèses possibles soit un 1 ou un 0.

Pour bien mener l'intérêt de ce chapitre on a opté à étudié en premier lieu quelques notions de base de detection caractérisées par les critères de décision et puis on fait une étude sur les techniques de détection.

II.2 Critères de décision

Pour pouvoir détecter une cible, le Radar envoie des ondes électromagnétiques et reçoit les échos qui sont réfléchies par les cibles. L'écho Radar est souvent reçu accompagné d'un bruit ce qui pose un problème pour la detection radar. Le rôle d'un détecteur est la détection d'une cible sans la confondre avec ce bruit qui l'accompagne. Il s'agit de décider si le signal en retour traité par le détecteur contient ou non l'écho d'une cible. Autrement dit, il est question de choisir entre deux hypothèses incompatibles notées couramment H_0 et H_1 . L'hypothèse H_0 dite hypothèse nul signifie cible absente et H_1 dite hypothèse alternative cible présente. Pour faire son choix, le détecteur se base sur une règle ou critère de décision qui consiste à comparer l'amplitude du signal $y(t)$ à tester à une valeur λ appelée seuil de détection.

Si $y(t) > \lambda$, alors le détecteur décide que l'hypothèse H_1 est vraie (cible présente), sinon l'hypothèse alternative H_0 est déclarée vraie (cible absente). Cette règle est parfois résumée par la notation suivante :

$$y(t) \underset{H_0}{\overset{H_1}{>}} \lambda \quad (\text{II.1})$$

Le signal $y(t)$ à traiter étant de nature aléatoire, on lui associe une densité de probabilité conditionnelle $f_{Y/H_i}(y/H_i)$; $i = 0, 1$. On a donc deux cas selon l'hypothèse considérée : sous H_0 , c'est-à-dire si $y(t)$ ne contient que du bruit, la densité de $y(t)$ est $f_{Y/H_0}(y/H_0)$; sous H_1 , c'est-à-dire si $y(t)$ porte l'écho d'une cible, elle est représentée par $f_{Y/H_1}(y/H_1)$. A titre d'exemple, si sous H_0 $y(t)$ est un bruit gaussien de moyenne nulle et de variance σ^2 alors :

$$f_{Y/H_0}(y/H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left[-\frac{y^2}{2\sigma^2} \right] \quad (\text{II.2})$$

et si sous H_1 $y(t)$ est un signal utile de moyenne m_Y additionné du bruit précédent, alors sa variance est aussi σ^2 et on a :

$$f_{Y/H_0}(y/H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left[-\frac{(y^2 - m_Y)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (\text{II.3})$$

Une fois une décision prise, l'un et seulement l'un des quatre événements suivants se réalise :

- H_0 est déclarée vraie alors que H_0 est vraie ;
- H_0 est déclarée vraie alors que H_1 est vraie ;
- H_1 est déclarée vraie alors que H_0 est vraie ;
- H_1 est déclarée vraie alors que H_1 est vraie ;

Dans le deuxième cas, une cible est présente mais n'a pas été détectée : c'est un manque ; dans le troisième cas, une cible est déclarée à tort présente : c'est une fausse alarme ; enfin, dans le dernier cas, une cible est présente et détectée : c'est une détection. Chacun de ces cas est associé à sa probabilité de réalisation pour estimer les performances du détecteur. Désignons par D_0 l'action décidé que H_0 est vraie et par D_1 l'action décider que H_1 est vraie. On définit la probabilité de détection, notée P_d , comme étant le probabilité de réalisation de D_1 sachant que H_1 est vraie :

$$P_d = P(D_1/H_1) \quad (\text{II.4})$$

La probabilité de détection P_d peut aussi s'exprimer en fonction de la densité conditionnelle de $y(t)$. Si l'on désigne par Z_0 le domaine des valeurs possibles de $y(t)$ dans lequel l'hypothèse H_0 est vraie et Z_1 le domaine complémentaire, alors :

$$P_d = \int_{Z_1} f_{Y/H_1}(y/H_1) dy \quad (\text{II.5})$$

On définit aussi la probabilité de fausse alarme, notée P_{fa} , comme étant la probabilité de réalisation de D_1 sachant que H_0 est vraie :

$$P_{fa} = P(D_1/H_0) \quad (\text{II.6})$$

De même que P_d , la probabilité de fausse alarme P_{fa} s'écrit aussi :

$$P_{fa} = \int_{Z_1} f_{Y/H_0}(y/H_0) dy \quad (\text{II.7})$$

Enfin, on définit la probabilité de manque, notée P_m , moins utilisée que les deux précédentes, par :

$$P_m = P(D_0/H_1) \quad (\text{II.8})$$

II.2.1 Critère de Bayes

Le critère de Bayes suppose que les quatre événements possibles (D_0, H_0) , (D_0, H_1) , (D_1, H_0) , (D_1, H_1) à l'issue d'une décision, où (D_i, H_j) ; $i = 0, 1$; $j = 0, 1$ signifie que la décision D_i est prise

quand l'hypothèse H_j est vraie, soient associés chacun à un coût C_{ij} qui représente en pratique le coût induit par la décision correspondante. En outre, les probabilités a priori des réalisations des hypothèses H_0 et H_1 sont censées connues.

Ce critère détermine alors la règle de décision en minimisant le coût moyen, appelé risque et noté \mathfrak{R} :

$$\mathfrak{R} = C_{00}P(D_0, H_0) + C_{01}P(D_0, H_1) + C_{10}P(D_1, H_0) + C_{11}P(D_1, H_1) \quad (\text{II.9})$$

D'après la loi de Bayes, on a :

$$P(D_i, H_j) = P(D_i/H_j)P(H_j) \quad (\text{II.10})$$

Où $P(H_j) = P_j$; $j = 0, 1$

désigne la probabilité a priori de l'hypothèse H_j . En substituant (II.10) dans (II.9), il vient :

$$\mathfrak{R} = C_{00}P(D_0, H_0)P_0 + C_{01}P(D_0, H_1)P_1 + C_{10}P(D_1, H_0)P_0 + C_{11}P(D_1, H_1)P_1 \quad (\text{II.11})$$

En remplaçant maintenant les équations (II.4) et (II.6) dans (II.11) et en remarquant que :

$$P_m = 1 - P_d \quad (\text{II.12})$$

Et :

$$P(D_0, H_0) = 1 - P_{fa} \quad (\text{II.13})$$

L'expression du risque \mathfrak{R} devient :

$$\mathfrak{R} = C_{00}P_0 + C_{01}P_1 + (C_{10} - C_{00})P_0P_{fa} + (C_{11} - C_{01})P_1P_d \quad (\text{II.14})$$

Enfin, on remplace les expressions de P_d et P_{fa} données par (II.5) et (II.6) respectivement et on obtient :

$$\mathfrak{R} = P_0C_{00} + P_1C_{01} + \int_{Z_1} [P_0(C_{10} - C_{00})f_{Y/H_0}(y/H_0) - P_1(C_{10} - C_{00})f_{Y/H_0}(y/H_0)] dy \quad (\text{II.15})$$

Dans l'expression (II.15), le terme $C_{00}P_0 + C_{01}P_1$ ne dépend pas des domaines Z_0 et Z_1 . La règle de décision s'obtient en affectant au domaine Z_1 l'ensemble des valeurs de $y(t)$ telles que l'intégrant soit négatif :

$$P_0(C_{10} - C_{00})f_{Y/H_0}(y/H_0) - P_1(C_{01} - C_{11})f_{Y/H_1}(y/H_1) < 0 \quad (\text{II.16})$$

Puisque $C_{10} - C_{00} > 0$ et $C_{11} - C_{01} > 0$, le coût d'une décision erronée étant supérieur au coût d'une décision correcte, la règle de décision devient finalement :

$$\frac{f_{Y/H_1}(y/H_1)}{f_{Y/H_0}(y/H_0)} > \frac{P_0(C_{10}-C_{00})}{P_1(C_{11}-C_{01})} \quad (\text{II.17})$$

Le premier membre de la règle (II.17) est appelé rapport de vraisemblance et noté $\Lambda(y)$:

$$\Lambda(y) = \frac{f_{Y/H_1}(y/H_1)}{f_{Y/H_0}(y/H_0)} \quad (\text{II.18})$$

et le deuxième membre est le seuil de détection, noté η , relativement à $\Lambda(y)$. Ainsi, la règle de décision s'écrit simplement :

$$\Lambda(y) > \eta \quad (\text{II.19})$$

II.2.2 Critère de Neyman-Pearson

Dans le critère de Bayes, il n'est pas facile d'affecter des coûts aux différentes décisions possibles. En outre, les probabilités a priori P_0 et P_1 des hypothèses H_0 et H_1 sont généralement inconnues. Le critère de Neyman-Pearson remédie à ce problème en ignorant les probabilités a priori et les coûts.

Le critère de Neyman-Pearson consiste à fixer la probabilité de fausse alarme P_{fa} et trouver une règle de décision de manière que la probabilité de détection P_d soit maximale. Il se trouve [3] que la règle de décision est aussi la même que (II.19), sauf que pour le critère de Neyman-Pearson le seuil de détection, noté λ , est calculé après avoir fixé la probabilité de fausse alarme P_{fa} , alors que η est calculé dans le critère de Bayes à l'aide des coûts et des probabilités a priori.

Ainsi, pour Neyman-Pearson, la règle de décision est :

$$\Lambda(y) \underset{H_0}{\overset{H_1}{\geq}} \lambda \quad (\text{II.20})$$

Si l'on désigne le rapport $\Lambda(y)$ par $\Lambda_{Y/H_0}(y/H_0)$ dans le cas où l'hypothèse H_0 est vraie et par $\Lambda_{Y/H_1}(y/H_1)$ dans le cas où l'hypothèse H_1 est vraie, les probabilités de fausse alarme et de détection s'écrivent :

$$P_{fa} = \int_{\lambda}^{\infty} \Lambda_{Y/H_0}(y/H_0) dy \quad (\text{II.21})$$

$$P_{fd} = \int_{\lambda}^{\infty} \Lambda_{Y/H_1}(y/H_1) dy \quad (\text{II.22})$$

II.3 Techniques de détection

Les techniques de détection radar peuvent être classées en techniques classiques et techniques adaptatives. En détection classique, le seuil de détection est fixe alors qu'en détection adaptative le seuil s'adapte continuellement au niveau de bruit. Cette partie du chapitre II a pour objet la présentation des deux techniques de détection en insistant sur la détection adaptative. Alors on commence par la détection classique ou bien détection à seuil fixe, son principe de fonctionnement est rappelé puis son principal inconvénient cité pour arriver à la détection adaptative qui est la base de notre sujet.

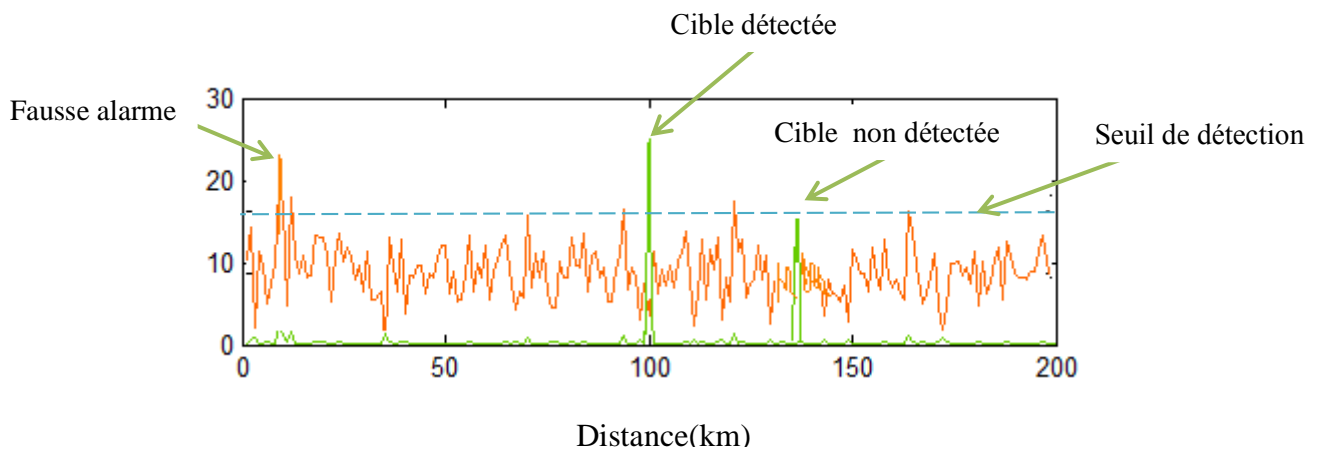


Figure II.2: principe de détection

Avant de discuter du fonctionnement des détecteurs classiques, c'est-à-dire des détecteurs à seuil fixe, il ne serait pas inutile de rappeler comment le radar perçoit son volume de surveillance, c'est-à-dire la région de l'espace surveillée.

Le signal émis par le radar est constitué d'impulsions de durée τ répétée avec une période de récurrence Tr , modulant une porteuse de plus haute fréquence. Lorsque deux cibles situées dans la même direction produisent chacune son propre écho, le radar ne peut pas les distinguer si la distance qui les sépare est inférieure à une distance minimale ΔR appelée résolution en distance et donnée par :

$$\Delta R = \frac{c\tau}{2} \quad (\text{II.23})$$

Où c désigne la célérité des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère. De même, le faisceau d'ondes émis, n'étant pas parfaitement directif, a une certaine ouverture angulaire qui impose au radar une résolution angulaire en site et en azimut.

Le volume de surveillance du radar est partitionné pour cette raison en petites régions adjacentes appelées cellules (**Figure II.3**). Une cible sera toujours vue à la même distance par le radar tant qu'elle reste à l'intérieur d'une même cellule et deux cibles situées dans la même cellule ne seront pas discernables.

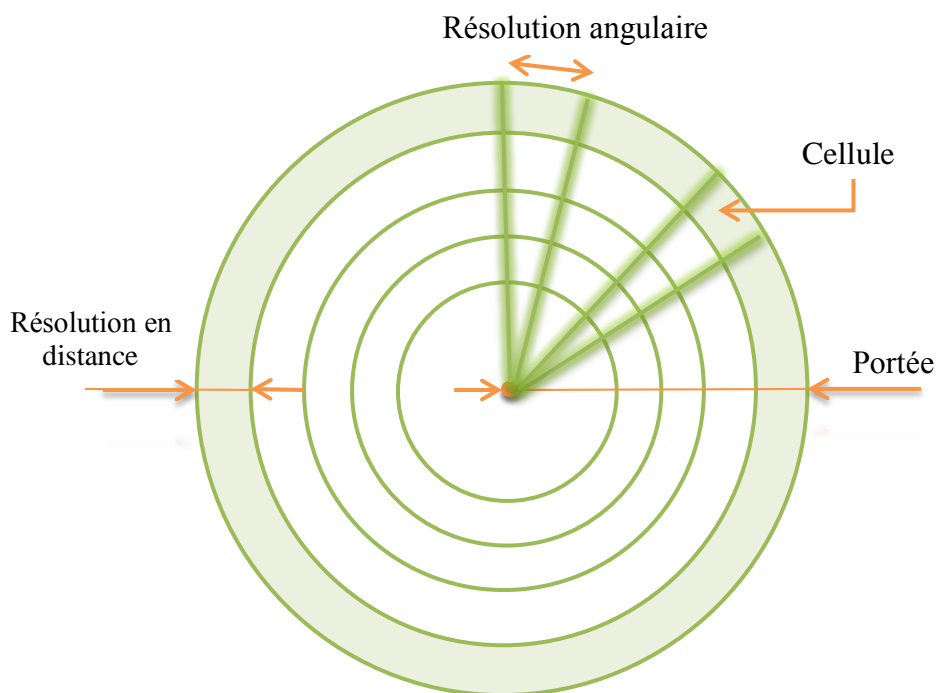


Figure II.3: Structure du volume de surveillance d'un radar.

Supposons maintenant qu'une cible se trouve dans une des cellules du volume de surveillance. Lorsque le radar illumine cette cellule, la cible reçoit non pas une mais plusieurs impulsions successives et réfléchit en conséquence un écho constitué d'un train d'impulsions. L'amplitude des impulsions réfléchies peut être constante comme elle peut varier d'une impulsion à une autre. Ainsi, le détecteur dispose de plusieurs échos (impulsions) pour une même cible, alors que la prise de décision sur la présence ou non d'une cible se fait par comparaison à une seule valeur, qui est le seuil de détection. Il est donc nécessaire pour le détecteur d'estimer une amplitude du train d'impulsions reçu à partir des amplitudes des impulsions individuelles.

C'est cette amplitude estimée qui sera comparée au seuil de détection afin de décider si oui ou non une cible est présente dans la cellule testée.

II.3.1 Détection optimale

. La distribution des amplitudes du train d'impulsions réfléchies dépend du modèle des fluctuations de la cible. Plusieurs auteurs ont étudié en détail la détection dans les conditions des différents cas de Swerling. Di Franco et Rubin [5] en particulier ont montré que le détecteur optimal (**Figure II.3**) est le même pour les cinq cas de Swerling vus au (cf. I.9) pour un bruit blanc gaussien. Ce détecteur optimal fonctionne comme suit. À l'entrée du détecteur, le signal reçu passe à travers un filtre adapté à une seule impulsion pour en maximiser le rapport signal sur bruit. Filtre adapté à une seule impulsion signifie que les impulsions sont traitées en série, l'une après l'autre. Le signal à la sortie de ce filtre traverse un détecteur quadratique qui fait une double fonction : il extrait l'enveloppe du signal, c'est-à-dire fait une démodulation, et élève au carré l'amplitude de cette enveloppe. L'enveloppe est ensuite échantillonnée à la période de récurrence T_r des impulsions. Lorsque le radar termine le balayage de la cellule courante, il aura reçu un total de N échantillons tous provenant de la même cible, chaque impulsion produisant un seul échantillon. Ces N échantillons sont additionnés et le résultat, qui est une estimation de la puissance de l'écho de la cible, est comparé à un seuil fixe. Si le seuil est dépassé par la somme des échantillons, une cible est déclarée présente dans la cellule ($H1$ est vraie), autrement la cellule est vide de cible ($H0$ est vraie).

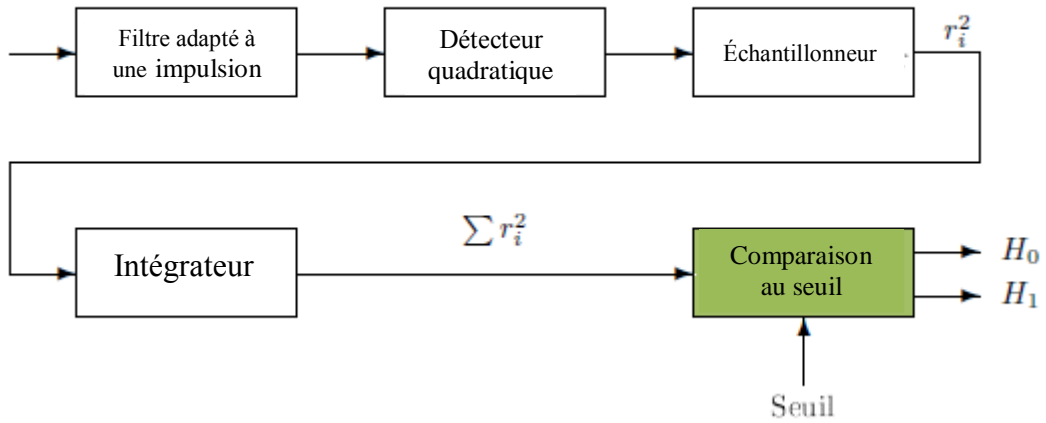


Figure II.4 Diagramme d'un détecteur classique

Les problèmes concernant la détection radar pour une case d'analyse fixée, dans un vecteur d'observation X de dimension N , d'un signal complexe s connu, caractérisant une cible, perturbé par un bruit de fouillis b additif. Ces problèmes se traduisent généralement par un test d'hypothèses binaires comme on a mentionné à l'introduction de ce chapitre :

$$H_0: X = b \quad \rightarrow \quad X_i = b_i \quad \text{avec } i = 1, \dots, N \quad (\text{II.24})$$

$$H_1: X = b + s \quad \rightarrow \quad X_i = b_i + S_i \quad \text{avec } i = 1, \dots, N \quad (\text{II.25})$$

Où X_i est les données secondaires, qui représentent les vecteurs d'observation supposés indépendants, au sens probabiliste des termes de X et qui sont supposés contenir seulement le bruit de fouillis additif, permettant d'estimer les paramètres inconnus du fouillis.

De l'hypothèse H_0 , le signal reçu X est considéré ne contenir que les échos indésirables et mauvais pour une bonne détection. Ces échos proviennent des différents réflecteurs de l'environnement. Leurs fonction densité de probabilité est notée par :

$$P_X \left(X / H_0 \right) = P_C \left(X / H_0 \right) \quad (\text{II.26})$$

De l'hypothèse H_1 , le signal reçu X est considéré contenir le signal s avec les échos de la cible mais noyé parmi les mêmes échos parasites de l'hypothèse H_0 . Sa densité de probabilité est notée par :

$$P_X \left(X / H_1 \right)$$

La tâche de la détection optimale est d'avoir celle des deux hypothèses la plus vraisemblable, en minimisant les deux erreurs suivantes :

→ Décider H_0 alors que H_1 est vraie : c'est la non détection, qui présente la probabilité suivante :

$$P_{nd} = P \left(H_0 / H_1 \right) = 1 - P \left(H_1 / H_1 \right) = 1 - Pd \quad (\text{II.27})$$

→ Décider H_1 alors que H_0 est vraie : c'est la fausse alarme, qui présente la probabilité suivante :

$$Pfa = P \left(H_1 / H_0 \right) \quad (\text{II.28})$$

Pour ces prévisions, il est très difficile de s'approcher totalement de ces erreurs, à moins de savoir parfaitement la statistique de l'environnement du Radar ainsi que la nature de la cible à détecter.

II.3.2 Détection à seuil fixe

A partir du récepteur, le RADAR doit prendre une décision concernant la présence ou l'absence d'une cible, car sa sortie est considérée comme un processus aléatoire dont les échantillons sont caractérisés par une fonction de probabilité (PDF).

L'existence du bruit parasite est un problème de risque d'erreurs pour reconnaître le signal utile. Il s'agit maintenant d'un problème de décision statistique. Deux hypothèses sont envisagées pour que la cible soit effectivement présente ou non [1].

H_0 : la cible est absente (bruit seul).

H_1 : La cible est présente avec le bruit.

Le problème de détection est résumé dans ce tableau suivant :

Reconnue \ Vraie	H_0	H_1
H_0	Pas d'erreurs	Non détection
H_1	Fausse alarme	Pas d'erreurs

Tableau II.1 Erreur de détection

Le seuil de détection est calculé en fixant la probabilité de fausse alarme. Autrement dit, une fois la probabilité de fausse alarme fixée, le seuil de détection reste constant. Ainsi, si la puissance du bruit augmente pour une raison ou une autre, le seuil ne varie pas et le détecteur risque de donner une série de fausses alarmes. Le taux de fausses alarmes (nombre de fausses alarmes par unité de temps) peut alors atteindre des seuils intolérables. C'est pour remédier à ce problème qu'est née la détection adaptative.

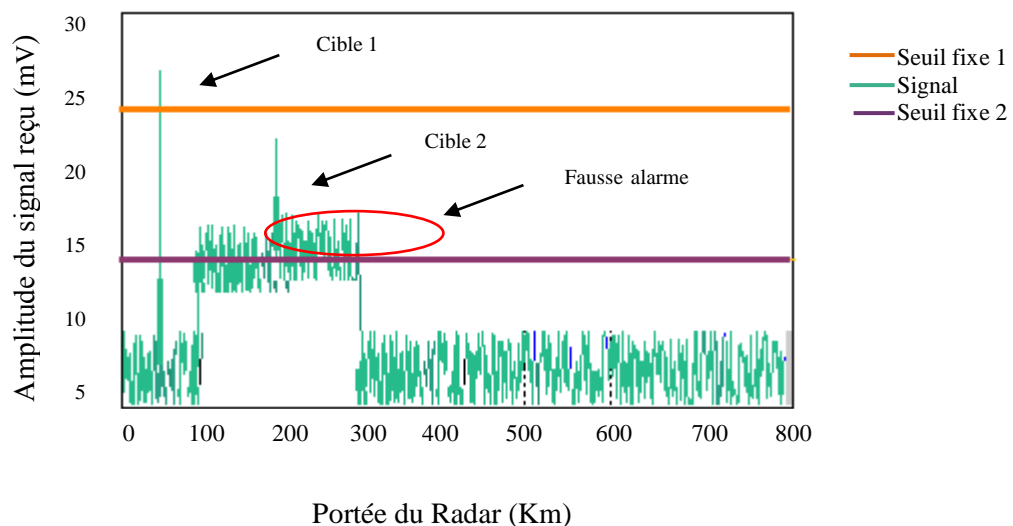


Figure II.5: Principe de la détection à seuil fixe

Le détecteur à seuil fixe est de moins en moins utilisé et conduit à adopter un seuil adaptatif pour : maintenir un Taux de Fausse Alarme Constant « TFAC » (Constant False Alarm Rate, CFAR). Ce seuil adaptatif suit les variations du niveau moyen du clutter.

II.3.3 Détection a seuil adaptatif

Dans les systèmes Radar, nous déterminons la présence ou l'absence d'une ou plusieurs cibles. Le signal reçu est analysé pour détecter la présence du signal utile, en essayant d'obtenir des informations supplémentaires comme: la vitesse, l'altitude et la direction de la cible. L'antenne de Radar émet des impulsions $s(t)$ dans la direction θ .

S'il existe une cible dans cette direction, le signal émis est réfléchi puis reçu par l'antenne avec un temps de retard qui est proportionnel à la distance d entre l'antenne et la cible.

$$R(t) = \alpha * s(t - \tau(d)) + b(t) \quad (\text{II.29})$$

Avec :

$$\tau(d) = 2 * s\left(\frac{d}{c}\right) \quad (\text{II.30})$$

α : dépend de l'altitude de la cible, de ses propriétés de réflexion, de la distance, etc.

C : la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques.

$b(t)$: bruit blanc.

Le système suivant résout le problème entre les deux hypothèses suivantes :

$$\begin{aligned} H_0 : R(t) &= b(t) \\ H_1 : R(t) &= \alpha * s(t - \tau) + b(t) \end{aligned} \quad (\text{II.31})$$

L'hypothèse H_0 correspond à l'absence de cible dans la direction θ , et la deuxième hypothèse H_1 correspond à la présence d'une cible à une distance qui est déterminée par $\tau(d)$.

→ L'utilisation de la détection à seuil fixe conduit à un nombre de fausses alarmes et pour la grande sensibilité de la probabilité de fausses alarmes aux variations de la puissance du clutter

Figure II.6.

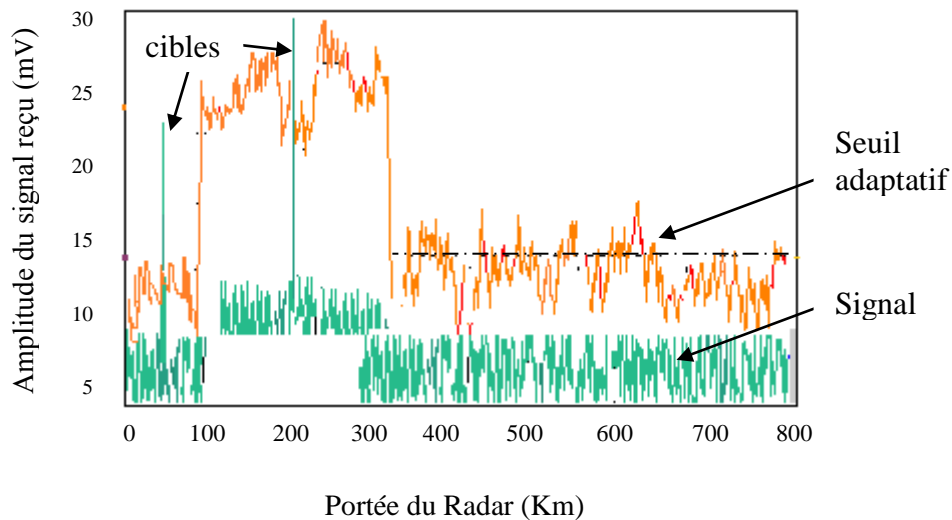


Figure II.6: Principe de la détection à seuil adaptatif

II.3 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté en générale quelque notion de base de la détection critères de décision, ainsi que les techniques de détection utilisées. Par conséquent nous avons constaté que la détection à seuil fixe ne peut pas être utilisée dans un environnement non homogène. Pour résoudre ce problème on a recours à la détection à seuil adaptatif qui assure un Taux de Fausse Alarme Constant.

Dans le chapitre suivant, on va étudier le détecteur CFAR et quelque détecteurs CFAR qui sont le CA CFAR et OS CFAR.

CHAPITRE III :

DETÈCTION À TAUX DE FAUSSE ALARME CONSTANT CFAR

Résumé :

ce chapitre est consacré à l'étude du détecteur CFAR (constant false alarm rate) passant par une définition, arrivant aux limitations de ce détecteur qui sont la cause de développement de processeur CFAR, nous avons fait aussi une étude sur le CA-CFAR et OS-CFAR

III.1 Introduction

Pour une couverture parfaite du radar, on cherche toujours d'améliorer les performances de détection dont une décision optimale de présence ou d'absence de cible est désirée. Dans n'importe système de détection, le test routine connu est de faire une comparaison du niveau du signal reçu avec une valeur préposée (prédéfinie), si le seuil est dépassé la présence de cibles est déclarée sinon l'absence des cibles est déclarée, en pratique le signal reçu à partir du cible radar est souvent corrompu par le bruit thermique et par le bord clutter sachant que dans n'importe position ni la puissance de bruit ni la puissance de clutter est connu, ce qui rend leur expression mathématique difficile. Un processeur de détection d'une valeur fixée de seuil ne peut être appliqué si on désire contrôler le taux de fausse alarme (déclaration de présence du signal d'une cible dont elle est pratiquement non présente) par ce que ce dernier (le taux du fausse alarme) va s'accroître intolérablement au fur et au mesure que la puissance d'interférences et du clutter varie. Cette augmentation est radicalement indésirable par ce que la détection sous cette augmentation est mauvaise ce qui implique une couverture radar mauvaise. Donc il est nécessaire pour la détection automatique des systèmes radars modernes d'être adapter avec les variations qui se produit dans le milieu qui l'entoure .d'une manière précise, il faut que ces systèmes pose et prévenir un seuil adaptatif avec le maintien du taux de false alarme constant.

Quoi faire pour que les systèmes Radar soient adaptatifs avec toute situation ?

Pour que les systèmes radar soient adaptatifs avec les variations des milieux (bruit, clutter) une technique de détection adaptatif est adopté, c'est le détecteur CFAR.

III.2 Étude de détecteur CFAR

III.2.1 Définition CFAR

Le terme CFAR est l'abréviation de l'expression anglaise constant false alarm rate qui signifie une detection a taux de fausse alarme constant, la technique CFAR est une partie parmi les parties les plus importantes dans le traitement moderne de signal radar.

Dérivant de la proposition de Finn et Johnson [6] en 1968, qui vise à contrôler le seuil de détection selon la puissance du bruit, en se basant sur les cellules entourant la cellule sous test. Le but de ce contrôle est d'avoir un détecteur à taux de fausses alarmes constant en adaptant continuellement le seuil de détection à la puissance du bruit, estimée à partir des cellules voisines de la cellule sous test.

III.2.2 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement du CFAR est la détection en posant un seuil adaptative par un traitement de groupe rangée des échantillons à l'intérieur des fenêtres de référence environ la cellule sous test (cellule under test).

Essentiellement, le seuil peut se former par la détermination d'une valeur estimé d'une information local de la puissance total du bruit et de clutter qu'elle est pratiquement non connu ,en plus ces deux derniers (bruit et clutter) varient en temps pour n'importe position ce que veut dire qu'ils ne sont pas constant. L'opération de l'estimation de la valeur de puissance de bruit et de clutter se fait dans la fenêtre de référence précisément l'information est extraite à partir des cellules environ la cellule sous test. L'opération de l'estimation qu'on vient de parler est réalisée avec un maintien de taux de fausse alarme constant, une fausse alarme c'est une décision de detection erronée de cible radar causé par le bruit ou autre signal interférant dépasse le seuil de detection (radar basics) ,la décision erronée qu'on vient de mentionner est la déclaration de présence du signal d'une cible dont elle est pratiquement non présente.

On note que la technique CFAR peut éviter la surcharge du computer, causé par la fluctuation du clutter radar ainsi elle peut obtenir une haute performance de détection [7].

Alors suite au premier paragraphe on va expliquer le principe de fonctionnement du CFAR avec détails.

La partie encadrée en pointillé dans la **Figure III.1** c'est le processeur CFAR. Le processeur CFAR recueille les échantillons à la sortie de l'intégrateur et les exploitent dans l'estimation Z de la puissance du clutter autour de la cellule sous test. Nous entendons par clutter tous les échos indésirables, du point de vue de la détection, situés dans la fenêtre de référence définie ci-dessous.

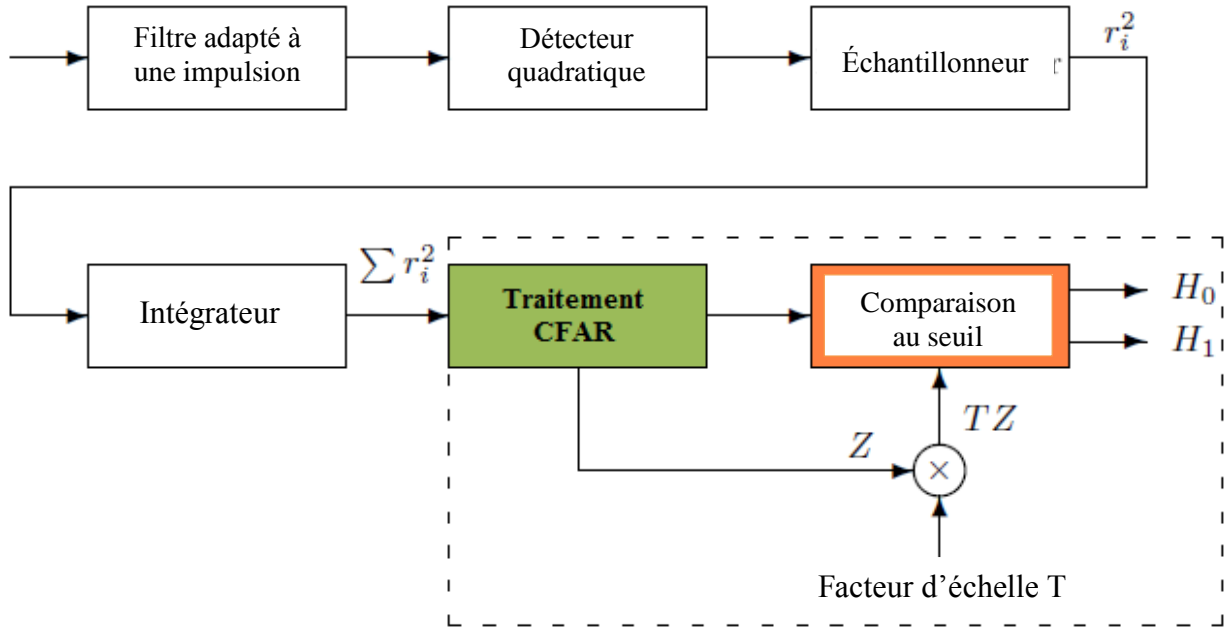


Figure III.1: Diagramme d'un détecteur adaptatif.

Pour estimer le niveau du clutter, le détecteur CFAR utilise les échantillons contenus dans les cellules de références, c'est-à-dire les cellules entourant la cellule sous test **Figure III.2** En désignant par N le nombre de cellules de référence, $N=2$ en sont situées avant et $N=2$ après la cellule sous test. Les cellules au voisinage immédiat de la cellule sous test sont appelées cellules de garde : elles ne sont pas comptées comme cellules de référence pour éliminer l'influence des débordements éventuels d'énergie (avant l'échantillonnage) de la cellule sous test aux cellules voisines.

La figure montre la fenêtre de référence.

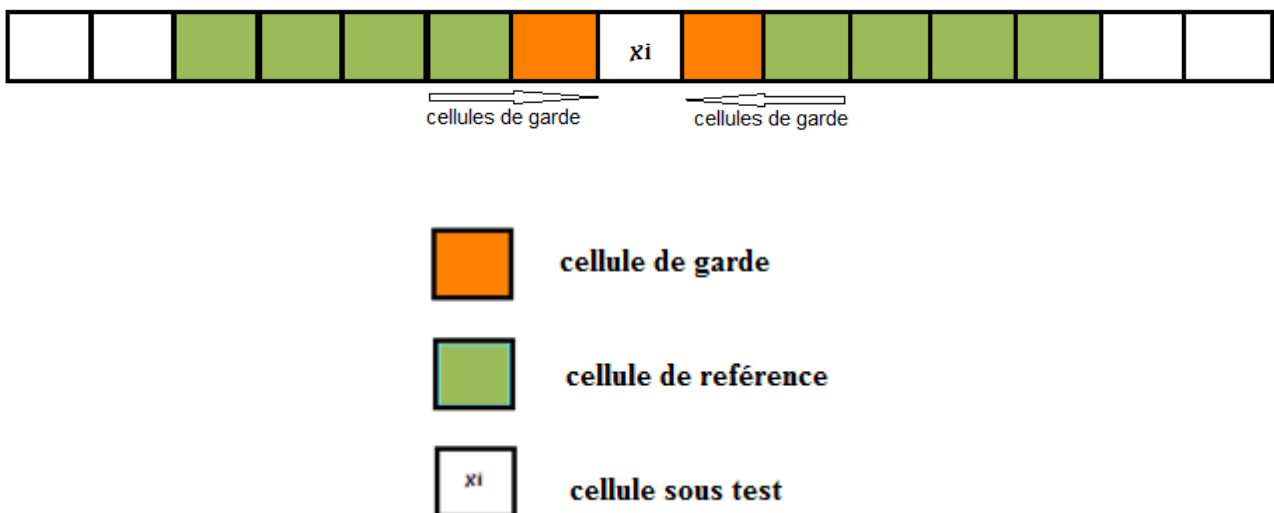


Figure III.2: fenêtre de référence

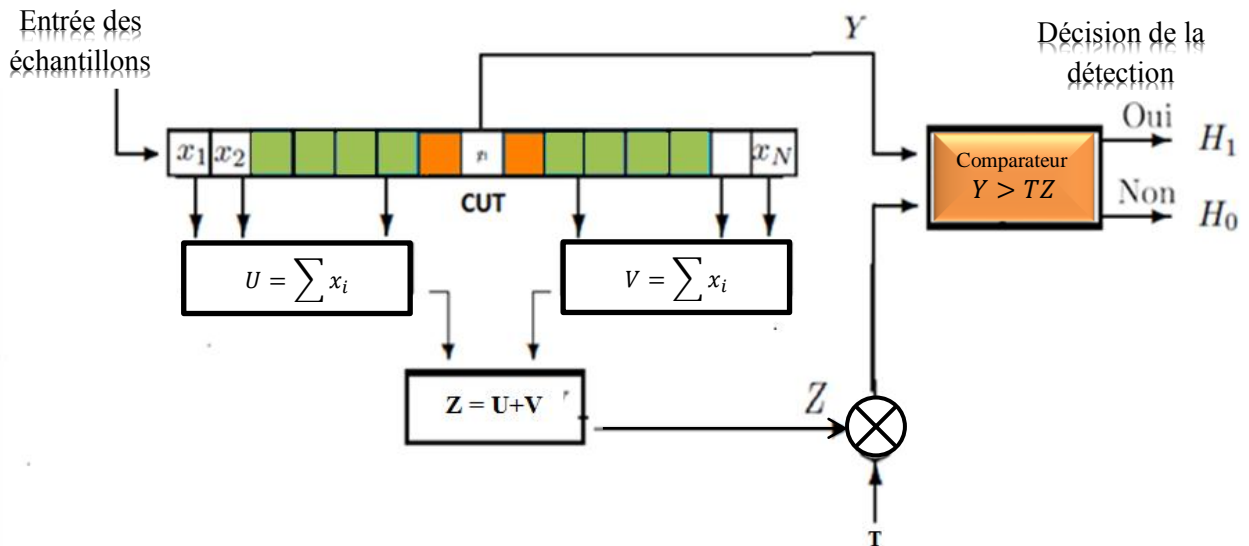


Figure III.3: Processeur CFAR

Une fois le niveau Z du clutter estimé par un algorithme approprié, il est multiplié par un facteur d'échelle T pour obtenir le seuil auquel l'amplitude Y de l'échantillon dans la cellule sous test sera comparée. Après la comparaison, une décision est prise selon la règle suivante :

- Si $Y > TZ$ alors il est décidé que l'hypothèse H_1 (cible présente) est vraie.
- Si $Y < TZ$ alors il est décidé que l'hypothèse H_0 (cible absente) est vraie.

Le facteur d'échelle T qui sert au calcul du seuil dépend de plusieurs paramètres dont le nombre N de cellules de référence et surtout la probabilité de fausse alarme P_{fa} . Comme nous le verrons plus loin, la relation liant T à P_{fa} varie selon l'algorithme utilisé pour le calcul de Z . Beaucoup d'algorithmes CFAR ont été proposés et une littérature abondante existe à ce sujet. Tous les détecteurs CFAR se distinguent par la méthode utilisée pour l'estimation de Z et sont conçus de manière à travailler dans les conditions d'un modèle donné de clutter. Les modèles de clutter se distinguent par la distribution des amplitudes dans les cellules de référence. Le clutter est dit homogène si les amplitudes des échantillons dans les cellules distance sont statistiquement indépendantes et identiquement distribuées [3]. Dans le cas contraire, d'autres distributions, parmi lesquelles celle de Rayleigh, sont utilisées comme modèle de clutter.

Parmi les problèmes les plus difficiles dans les systèmes radar c'est bien la détection des cibles sous des environnements variant, après avoir étudié les détecteurs CFAR, on passe par une étude de l'environnement :

III.2.3 Environnement

L'environnement c'est le milieu qui entoure un système, dans notre cas l'environnement c'est le milieu traversé par les ondes électromagnétique intervenant d'un radar et qui sont réfléchies, a propos des signaux réfléchies les environnement du radar se diffèrent, le comportement du signal émis dans un espace se diffère selon le milieu traversé par exemple: si un radar émis des signaux dans un espace les signaux réfléchies à partir de la mer ou d'une région qu'il pleut ou une foret ce n'est pas les mêmes.

III.2.3.1 Environnement homogène

C'est l'environnement idéal pour la détection radar, c'est le cas d'absence du clutter et de cibles interférentes, l'homogénéité c'est que les échantillons du signal réfléchis soit décrit par des variables aléatoires exponentielles indépendantes identiquement distribuées.

III.2.3.2 Environnement non homogène

Lorsque la fenêtre de référence balaye l'environnement dans une direction donnée, différentes situations non homogènes peuvent affecter la configuration des cellules de référence. Ces situations sont causées par la présence de cibles interférentes (cibles secondaires) et/ou de bord de clutter au niveau du canal de référence **Figure III.4.**

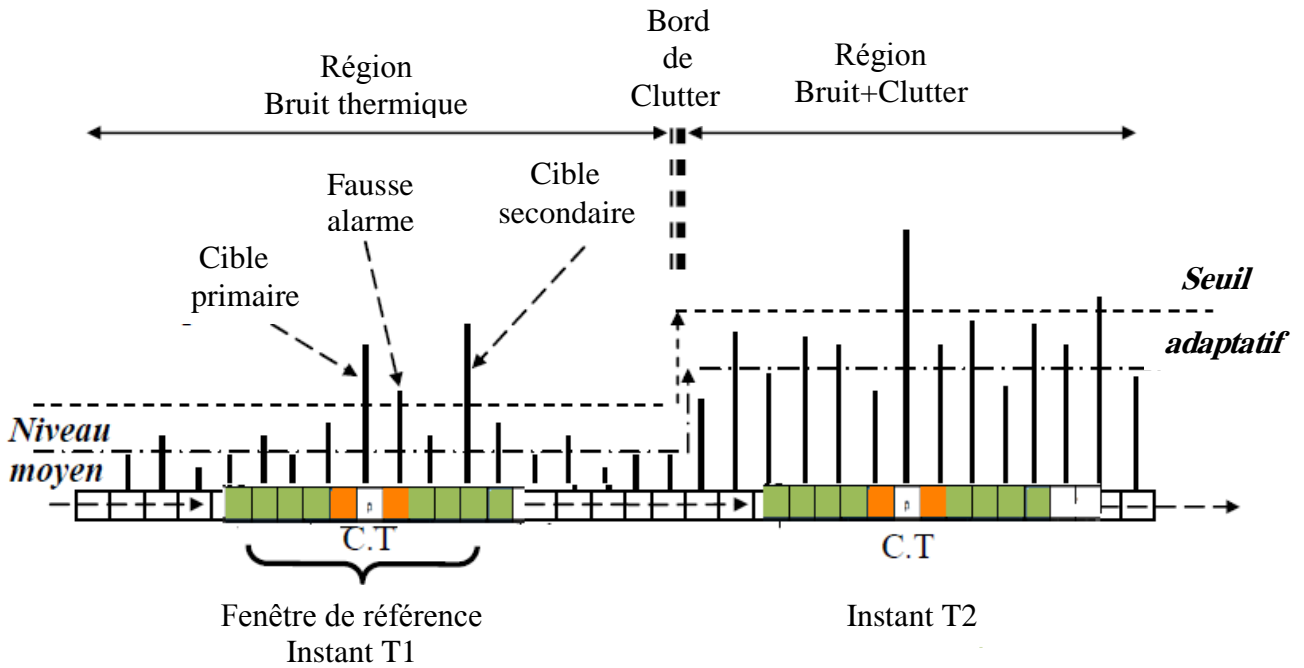


Figure III.4: Fenêtre de référence balayant un environnement non homogène

➤ **Cible interférente**

La cible interférente est une cible secondaire qui peut être présente sur des cellules distance proches de cellules de la cible primaire dont la cellule sous test déclare présence de la première cible alors que la secondaire et après la cellule sous test.

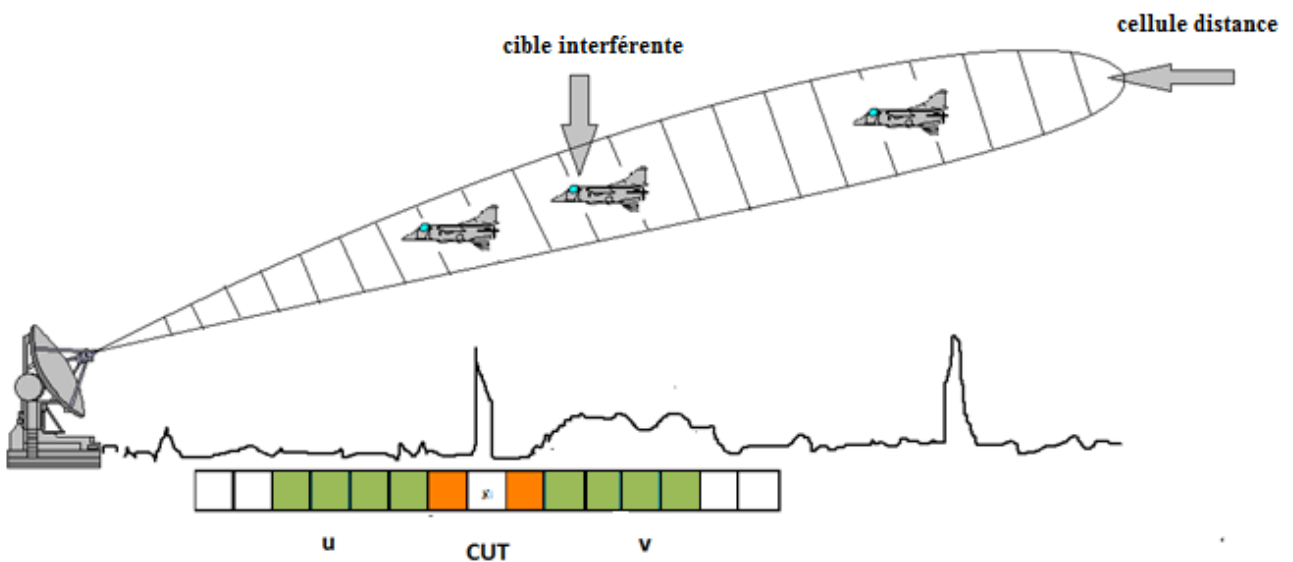
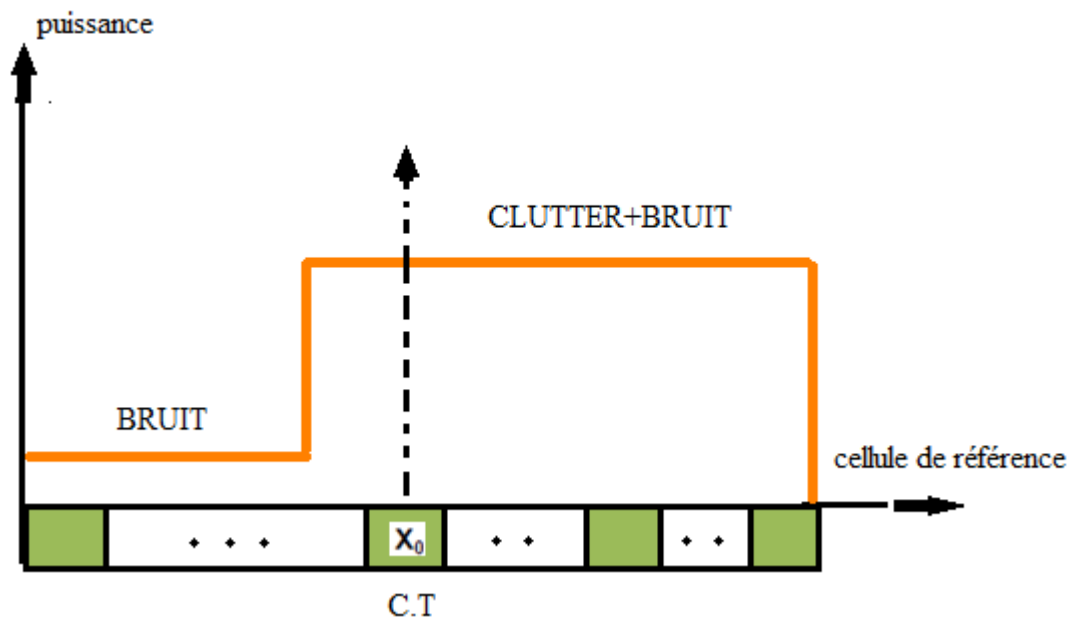


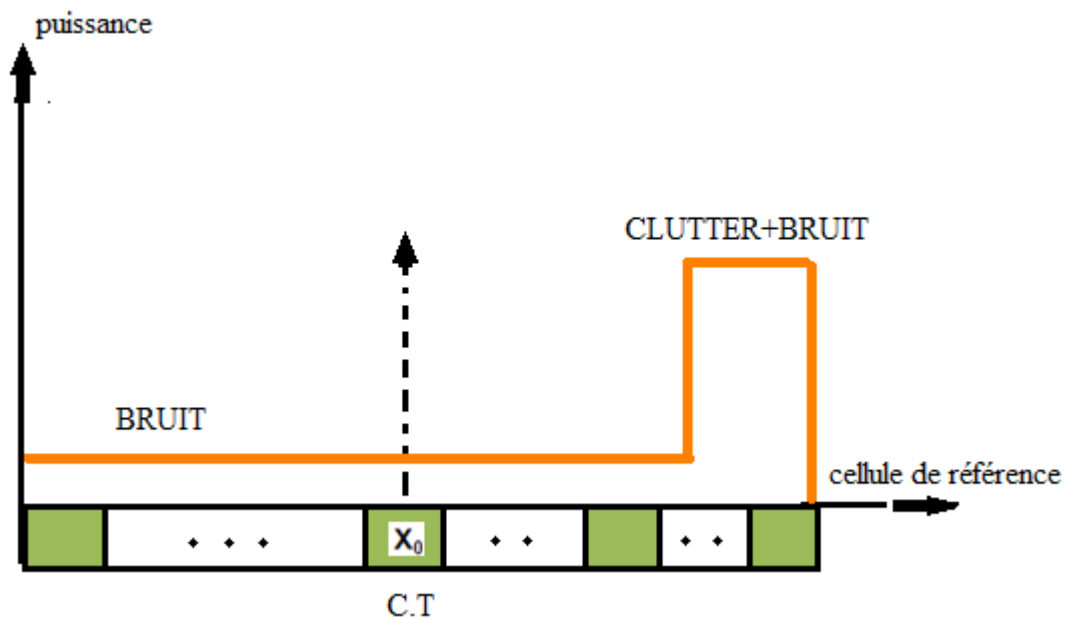
Figure III.5: Illustration de cible interférente

➤ Bord de clutter

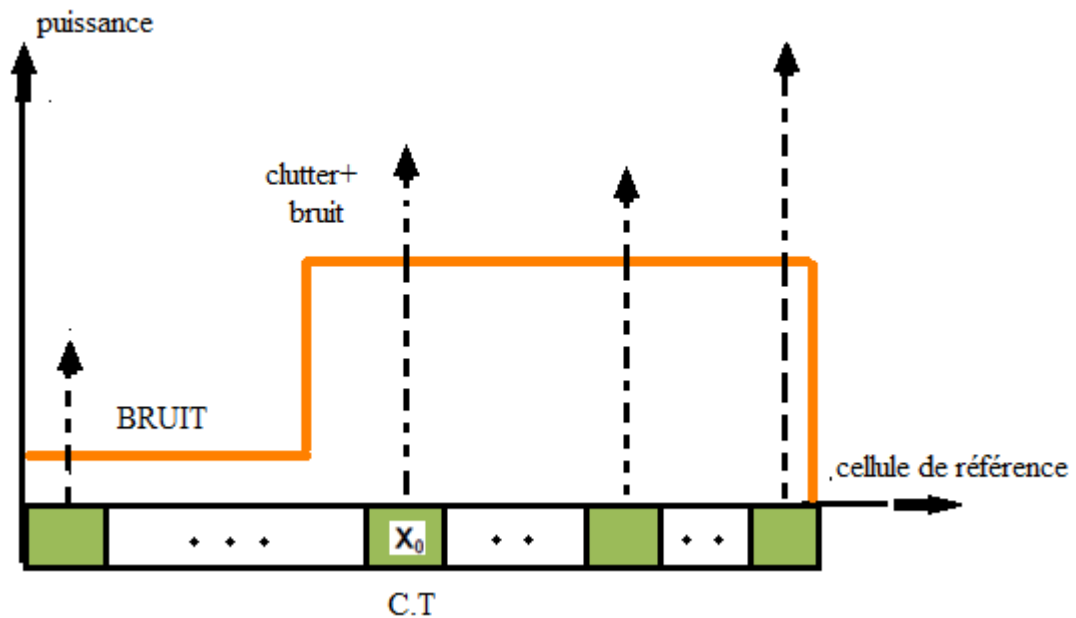
Un bord de clutter est caractérisé par la présence, au niveau de la fenêtre de référence, d'une transition brusque dans la puissance du bruit de fond. En détection radar, cette transition décrit la limite entre deux milieux de nature différente : transition terre-mer, zone claire-nuage.



(a) cellule sous test noyée dans la région du clutter



(b) cellule sous test noyée dans le bruit thermique.



(c) Présence de bord de clutter et de cibles interférentes.

Figure III.6: Différentes situations d'environnements non homogènes.

l'objectif du CFAR c'est de pouvoir stipuler le seuil de détection ,en face des variations subit dans les milieux environ, effectivement plusieurs situations peuvent diminuer les performances CFAR, pour cela plusieurs algorithmes CFAR sont proposés pour préserver et améliorer les performances du détecteur CFAR [8], les détecteurs CFAR se différent selon la différence des algorithmes ,sachant que la différence de ces algorithmes prévient de la méthode mathématique de La forme mathématique de l'estimateur $Z=f(X_1, X_2, \dots, X_N)$ conçu à estimer la valeur de la puissance du bruit et de clutter .

L'utilisation du détecteur CA-CFAR dans des situations semblables à celles de la **Figure III.6** conduit à une importante perte de détection ou à une augmentation du taux de fausse alarme. Dans le cas où la cellule sous test baigne dans le clutter **Figure III.6.(a)**, les cellules noyées dans le bruit thermique contribuent à sous -estimer le seuil de détection, ce qui se traduit par une probabilité de fausse alarme (Pfa) excessive.

Dans la **Figure III.6.(b)**, la cellule sous test étant dans le bruit thermique, les cellules appartenant au clutter tendent à faire augmenter le seuil de détection et, par conséquent, à dégrader la probabilité de détection.

Cette situation particulière est connue sous le nom de « l'effet de masque » (masking effect). L'effet de capture, par contre, est obtenu en présence d'interférences dans un clutter homogène (uniforme), lorsque celles-ci contribuent à l'augmentation du seuil de détection [9].

III.3 Étude de quelques types de CFAR

III.3.1 Le CA-CFAR

III.3.1.1 Définition

Le CA-CFAR c'est le processeur CFAR le plus optimal dans le milieu homogène ; Pendant qu'il maintient le taux de fausse alarme constant il maximise la probabilité Pd donc c'est le processeur le plus désirable si il n'y a pas de bord clutter et non pas des cibles interférentes dans la fenêtre de référence, Cependant ce n'ai pas une supposition pratique ; les performances de ce processeur dégradent significativement a un milieu non homogène [10].

Le détecteur CA-CFAR (Cell Averaging Constant False Alarm Rate) suppose que le signal à la sortie du détecteur quadratique soit décrit par des variables aléatoires exponentielles indépendantes identiquement distribuées (environnement homogène).

Ce détecteur fait la moyenne arithmétique des cellules de référence pour estimer le niveau du clutter. Si N est le nombre de cellules de référence, ce détecteur calcule la somme U des $N/2$ échantillons précédant et la somme V des $N/2$ échantillons suivant la cellule sous test, en tenant compte des cellules de garde **Figure II.2** :

$$U = \sum_{i=1}^{\frac{N}{2}} x_i \quad (\text{III. 1})$$

$$V = \sum_{i=\frac{N}{2}+1}^N x_i \quad (\text{III. 2})$$

Les deux fenêtres U et V sont ensuite additionnées 1 pour obtenir une estimation Z du clutter :

$$Z = U + V \quad (\text{III.3})$$

Le seuil est calculé en multipliant Z par le facteur d'échelle T et le détecteur prend une décision en comparant TZ à l'amplitude Y de l'échantillon dans la cellule de référence :

$$Y \underset{H_0}{\overset{H_1}{>}} TZ \tag{III.4}$$

La notation (III.4) signifie que si $Y > TZ$, alors la décision est en faveur de H_1 (cible présente), sinon elle est en faveur de H_0 (cible absente)

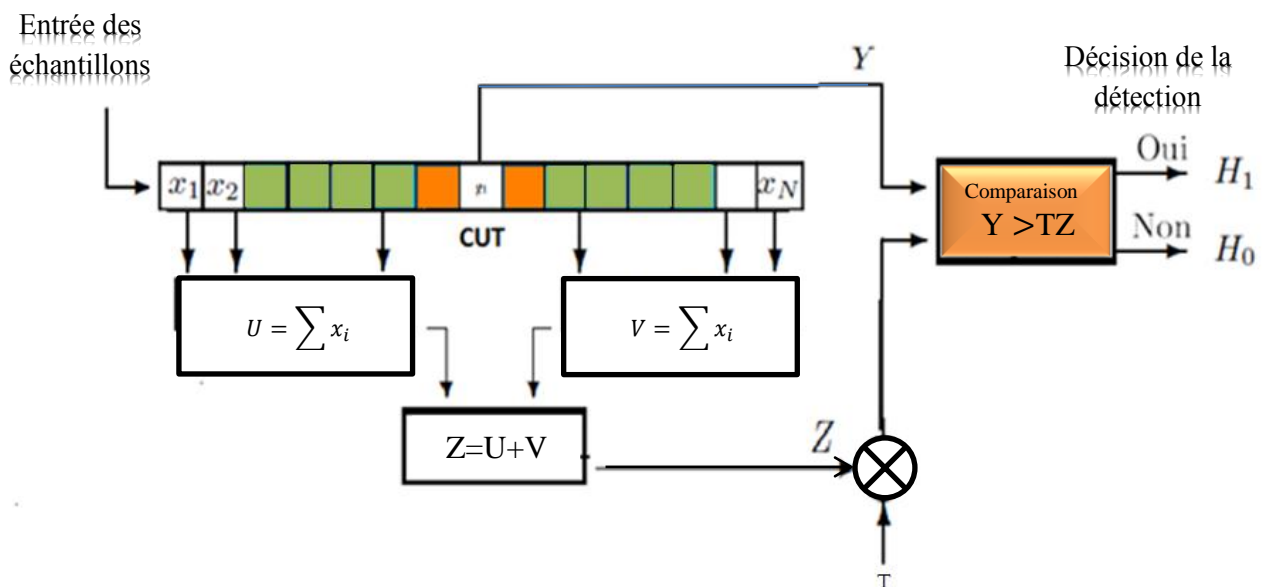


Figure III.7: Processeur CA-CFAR

III.3.1.2 Étude probabiliste

La densité de probabilité conditionnelle de la sortie de la cellule sous test s'écrit :

$$f_{y/H_i}(y/H_i) = \begin{cases} \frac{1}{2\sigma^2(1+S)} \exp\left[-\frac{y}{2\sigma^2(1+S)}\right] & , \text{pour } i = 1 \\ \frac{1}{2\sigma^2} \exp\left[-\frac{y}{2\sigma^2}\right] & , \text{pour } i = 0 \end{cases} \tag{III.5}$$

Où σ^2 représente la puissance du bruit et S le rapport signal sur bruit. L'hypothèse H_0 correspond au cas où le bruit est seul alors que l'hypothèse H_1 correspond au cas où le bruit est accompagné d'un signal cible.

La probabilité de détection P_d est donnée par :

$$P_d = E_Z [P(Y > TZ/H_1)] \quad (\text{III.6})$$

où Z est le niveau estimé du bruit et E_Z l'espérance mathématique de Z . D'après les équations (III.5) et (III.6), on a :

$$P_d = E_Z \left[\int_{TZ}^{\infty} \frac{1}{2\sigma^2(1+S)} \exp \left[-\frac{y}{2\sigma^2(1+S)} \right] dy \right] \quad (\text{III.7})$$

Soit :

$$P_d = E_Z \left[\exp \left(-\frac{TZ}{2\sigma^2(1+S)} \right) \right] \quad (\text{III.8})$$

$$= M_Z \left[-\frac{T}{2\sigma^2(1+S)} \right] \quad (\text{III.9})$$

Où M_Z est la fonction génératrice des moments (FGM) de la variable aléatoire Z qui s'écrit pour le détecteur CA-CFAR :

$$Z = \sum_{i=1}^N X_i \quad (\text{III.10})$$

Où X_i représente la variable aléatoire qui décrit l'amplitude de l'échantillon dans la i ème cellule de référence.

D'autre part, la densité de probabilité donnée par (III.5) est un cas particulier de la densité de probabilité de la distribution Gamma $G(\alpha, \beta)$:

$$f_X(x) = \frac{1}{(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right) \quad (\text{III.11})$$

Qui a pour FGM [3] :

$$M_x(t) = \frac{1}{(1-\beta t)^\alpha} \quad (\text{III.12})$$

Pour $\alpha = 1$, on obtient une densité de probabilité exponentielle :

$$f_X(x) = \frac{1}{\beta} \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right) \quad (\text{III.13})$$

De la même forme que celle donnée par (III.5) avec $\beta = 2\sigma^2(1+S)$ pour l'hypothèse $H1$ et $\beta = 2\sigma^2$ pour l'hypothèse $H0$. Ainsi, en substituant dans l'équation (III.12) α et β on obtient :

La FGM de la variable aléatoire X_i :

$$M_x(t) = \frac{1}{(1-2\sigma^2 t)} \quad (\text{III.14})$$

Qui, combinée avec la relation (III.10) et en supposant que les X_i sont indépendantes et identiquement distribuées, donne la FGM de Z :

$$M_Z(t) = M_x^N(t) \quad (\text{III.15})$$

$$= \frac{1}{(1-2\sigma^2 t)^N} \quad (\text{III.16})$$

Finalement, des équations (III.9) et (III.16), on trouve que la probabilité de détection vaut :

$$P_d = \left(\frac{1+S}{1+S+T}\right)^N \quad (\text{III.17})$$

La probabilité de fausse alarme P_{fa} s'obtient simplement en mettant $S = 0$ dans (III.17) car P_{fa} correspond à l'hypothèse $H0$ où le rapport signal sur bruit S est nul (pas de signal) :

$$P_{fa} = (1 + T)^{-N} \quad (\text{III.18})$$

C'est la formule (III.18) qui est utilisée pour calculer le facteur d'échelle correspondant à une probabilité de fausse alarme fixée. Le **TABLEAU II.1** présente les valeurs du facteur d'échelle pour différentes probabilités de fausse alarme P_{fa} et différentes valeurs du nombre de cellules de référence N .

N \ Pfa	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
8	0.77	1.37	2.16	3.21	4.62	6.49
16	0.33	0.53	0.77	1.05	1.37	1.73
24	0.21	0.33	0.46	0.61	0.77	0.95
32	0.15	0.24	0.33	0.43	0.53	0.65

TABLEAU III.1 Valeurs du facteur d'échelle du CA-CFAR.

III.3.1.3 Simulation

Nous avons généré avec Matlab un signal aléatoire de 70 échantillons qu'on utilisera pour simuler la méthode de détection CA-CFAR. Le but de cette simulation est d'analyser les caractéristiques de ce détecteur en traçant son seuil adaptatif dans différents environnements et en étudiant la probabilité de détection du CA-CFAR en fonction du rapport signal sur bruit pour différentes probabilités de fausse alarme et différentes valeurs du nombre de cellules de référence. Le bruit additionné au signal généré est à distribution exponentielle.

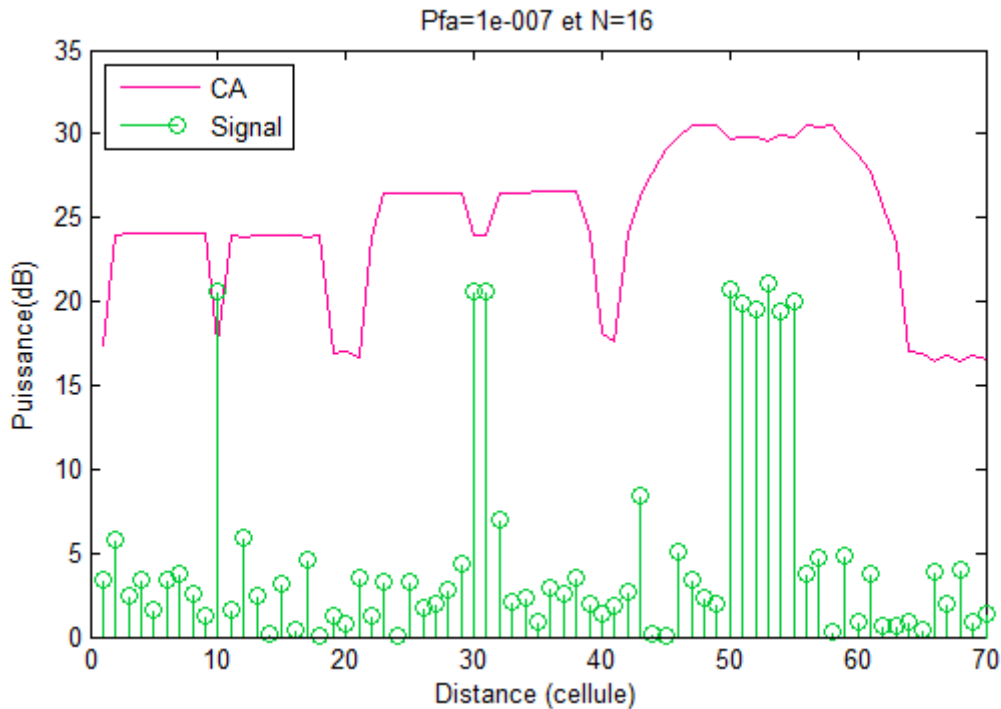


Figure III.8: Évolution du seuil du détecteur CA-CFAR selon le degré d'homogénéité de l'environnement.

La **Figure III.8** illustre l'évolution du seuil de détection du CA-CFAR dans différents cas d'environnement. Sur l'axe des distances, il y a une cible à la cellule 10, deux cibles interférentes entre elles aux cellules 30 et 31, et enfin un clutter à les cellules de 50 à 55. La cible à la cellule 10 ne peut pas interférer avec les cibles aux cellules 30 et 31 car la distance entre les cellules 10 et 30 est supérieure à 16, qui est le nombre de cellules de référence utilisé. Il en est de même de la cellule 50-55 vis-à-vis des cellules 30 et 31.

Sur la **Figure III.8**, la cible à la cellule 10, se trouvant dans un environnement homogène, est détectée par le CA-CFAR. C'est dans un tel environnement que le CA-CFAR est destiné à travailler. Par contre, la détection des deux cibles aux cellules 30 et 31 est manquée car chacune de ces cibles (30 et 31) se trouve dans la fenêtre de référence de l'autre, ce qui fait monter démesurément le seuil de détection. Enfin, dans le cas que l'amplitude assez élevée du clutter fait monter plus qu'il n'en faut le seuil de détection. D'une manière générale, plus le clutter pénètre dans la fenêtre de référence, plus le seuil monte et moins probable sera la détection.

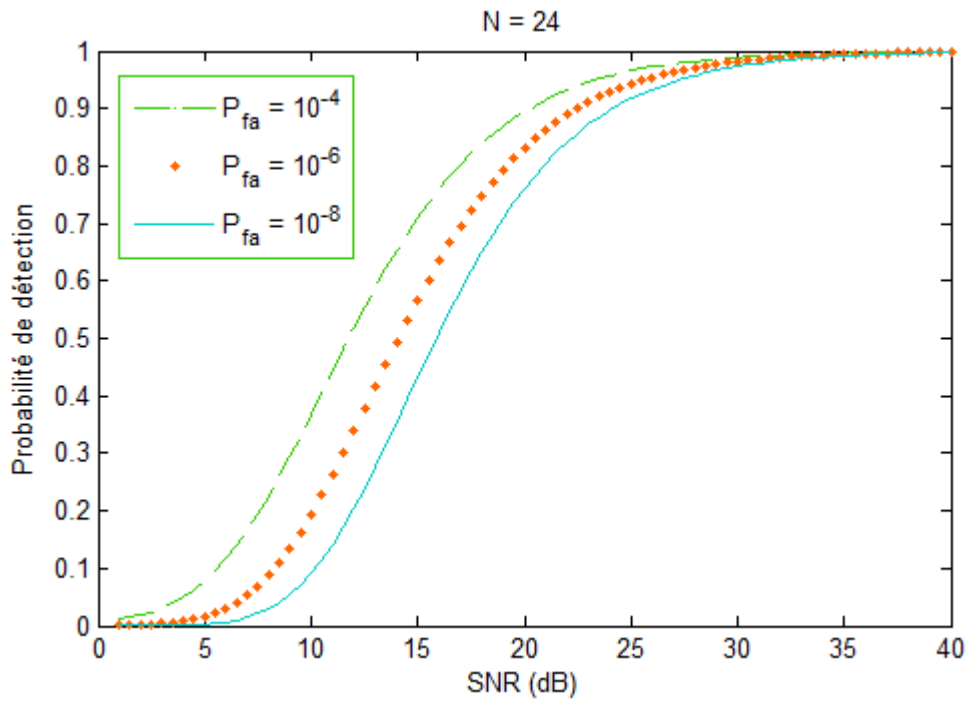


Figure III.9: Probabilité de détection du CA-CFAR en fonction du rapport signal sur bruit avec P_{fa} comme paramètre $N=24$.

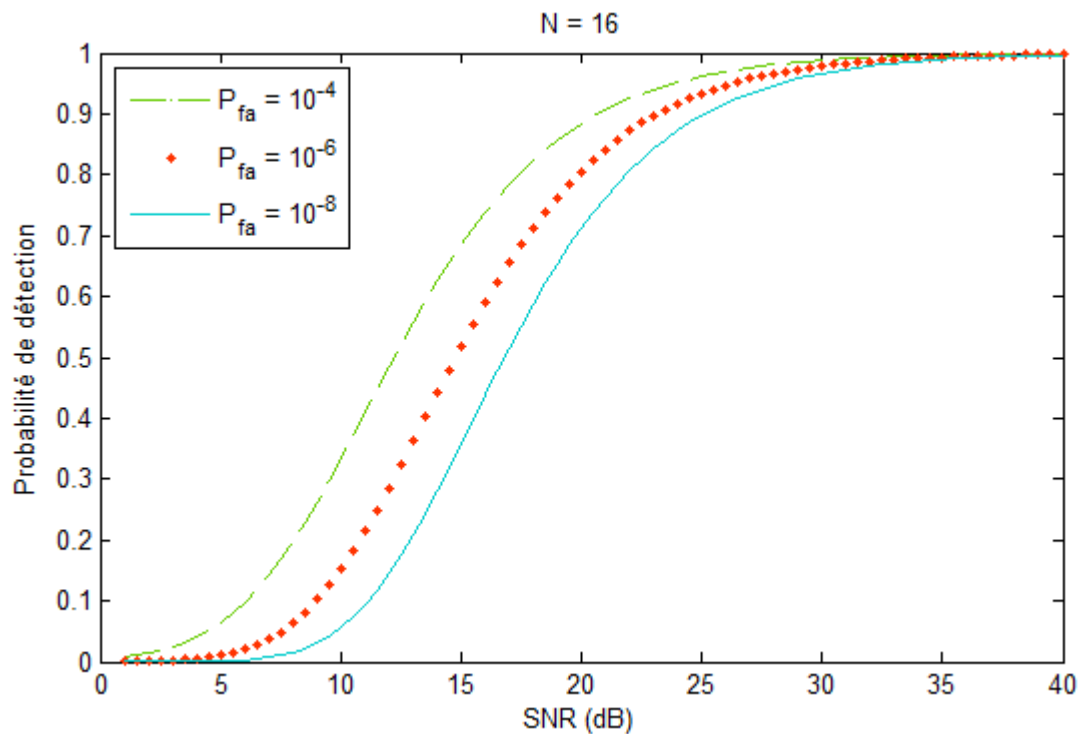


Figure III.10: Probabilité de détection du CA-CFAR en fonction du rapport signal sur bruit avec P_{fa} comme paramètre $N=16$.

Nous allons maintenant étudier l'influence du rapport signal sur bruit SNR sur la probabilité de détection P_d . Deux cas seront examinés. En fixant le nombre N de cellules de référence et en prenant la probabilité de fausse alarme comme paramètre et vice versa. Les courbes de la probabilité de détection peuvent être tracées de deux manières, soit par le calcul direct à l'aide des équations (III.17) et (III.18), soit par simulation avec la méthode Monte-Carlo. Nous avons opté pour le calcul direct car les expressions de P_d et P_{fa} sont simples pour le détecteur CA-CFAR.

En fixant le nombre de cellules de référence, on constate d'après la **Figure III.9** ou **Figure III.10** que lorsque le rapport signal sur bruit augmente, la probabilité de détection augmente. C'est ce qu'on pourrait attendre intuitivement car moins le signal est bruité, plus la détection des cibles éventuelles est facile.

On remarque que le cas de $N=24$ est meilleur que le cas de $N=16$ en terme que pour la même valeur de SNR la P_d en cas de $N=24$ est plus que P_d en cas de $N=16$, par exemple pour $SNR=5$ la P_d en cas de $N=24$ est égale à 0.1 alors que la P_d en cas de $N=16$ est égale à 0.05, cette dernière remarque est prouvée aussi dans le cas où on fixe la valeur de P_{fa} . On remarque aussi que la probabilité de détection va dans le même sens que la probabilité de fausse alarme. L'interprétation en est que plus on essaye de détecter plus de cibles, plus il est probable de faire des erreurs en prenant des pics de bruit pour des cibles.

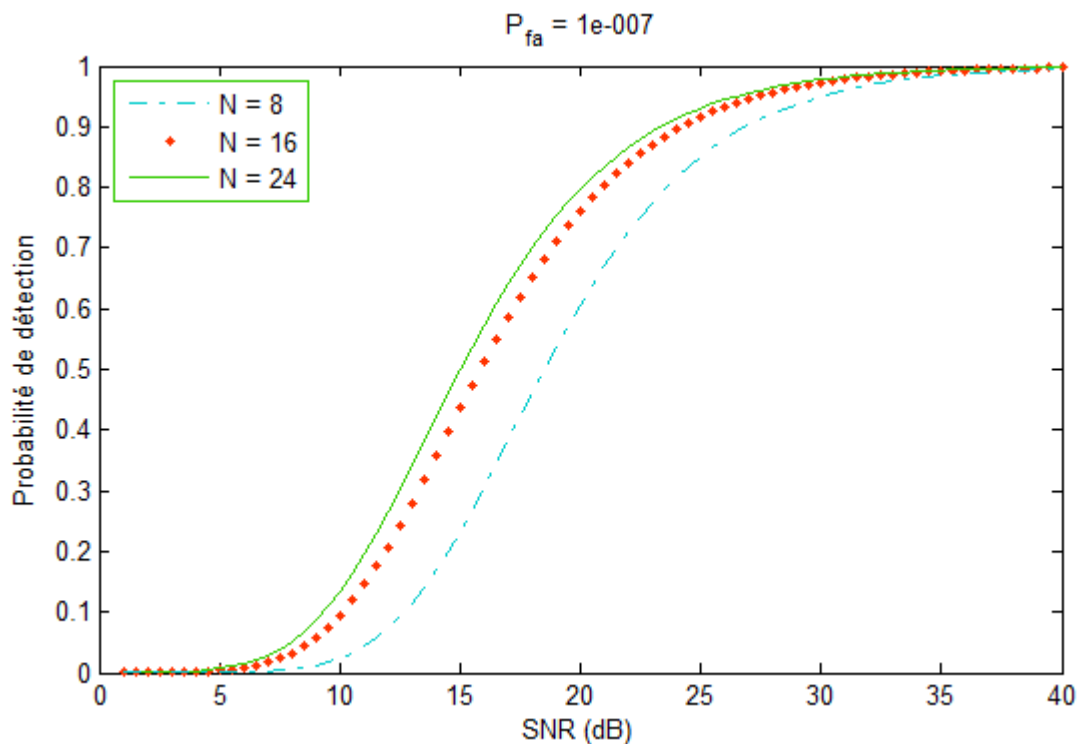


Figure III.11: Probabilité de détection du CA-CFAR en fonction du rapport signal sur bruit avec N comme paramètre.

En fixant maintenant la probabilité de fausse alarme, la **Figure III.11** montre que pour un même rapport signal sur bruit la probabilité de détection s'améliore lorsque le nombre de cellules de référence augmente. D'un point de vue théorique, plus le nombre de cellules de référence est important, plus l'estimation du bruit environnant est meilleure, plus le CA-CFAR approche le détecteur optimal de Neyman-Pearson. Mais ce nombre ne peut pas être pris trop grand car on doit estimer l'entourage direct de la cible. Le détecteur CA-CFAR est basé sur l'hypothèse que le clutter au voisinage de la cellule sous test est homogène.

En pratique, les observations ont montré que le clutter reste homogène sur une distance maximale de un mille nautique (environ 1.8 km). Pour une application convenable du CA-CFAR, le nombre de cellules de référence optimal N_0 est lié à la distance D_{hc} sur laquelle le clutter reste homogène par l'expression :

$$N_0 = \frac{2D_{hc}}{c\tau} - 2N_{cg} - 1 \quad (\text{III.19})$$

Où c est la vitesse des ondes électromagnétiques, τ la durée d'une impulsion du signal radar et N_{cg} le nombre de cellules de garde par demi-fenêtre de référence.

→ État de l'art du GO et SO -CFAR

🌐 GO-CFAR

L'environnement du radar où la non homogénéité est généralement sévère (effets de bord, présence de plusieurs cibles) n'est pas coopératif, ce qui rend les fausses alarmes difficilement contrôlables. Dans une situation d'un clutter de bord, Hansen et Sawyers [11] ont proposé en 1980 le détecteur GO-CFAR (Greatest Of CFAR) qui consiste à diviser la fenêtre de référence en deux sous-fenêtres ; l'une contenant les cellules avant et l'autre les cellules après la cellule sous test.

L'estimation du niveau du bruit est le maximum des sommes respectives U et V de ces deux sous-fenêtres. Moore et Lawrence ont donné une analyse détaillée des capacités de régulation de la fausse alarme du détecteur GO-CFAR. La performance de ce détecteur est bonne dans le cas d'un clutter de bord. Par contre, dans le cas où une ou plusieurs cibles interférentes sont présentes, Weiss a montré que les performances de ce détecteur étaient sérieusement affectées.

 **SO-CFAR**

Weiss [12] a suggéré en 1982 l'utilisation du détecteur SO-CFAR (Smallest Of CFAR), dans lequel l'estimation du niveau du bruit est le minimum des sommes respectives U et V des deux sous-fenêtres. Trunk a montré que le détecteur SO-CFAR permet d'améliorer la résolution de cibles voisines. Ainsi, Dans le cas de situations de cibles multiples, quand une estimation a priori du niveau de la puissance de l'interférence est rendue disponible par le système radar de poursuite, il est possible de diminuer le seuil adaptatif, minimisant ainsi l'effet de capture.

II.3.2 L'OS-CFAR**II.3.2.1 Définition**

Pour remédier aux problèmes rencontrés par les détecteurs SO- et GO-CFAR (derive de CA-CFAR) dans le cas d'un environnement non homogène, Rohling [13] a introduit un nouveau détecteur basé sur les statistiques d'ordre, c'est-à-dire sur les propriétés statistiques d'un ensemble ordonné d'échantillons. Les échantillons sont ordonnés selon leur amplitude croissante pour obtenir suite d'échantillons ordonnés suivante :

$$X_{(1)} \leq X_{(2)} \leq \dots \leq X_{(k)} \leq \dots \leq X_{(N)} \quad (\text{III.20})$$

L'échantillon $X_{(k)}$, d'ordre k , est ensuite choisi pour représenter le test statistique Z **Figure (III.12)**:

$$Z = X_{(k)} \quad (\text{III.21})$$

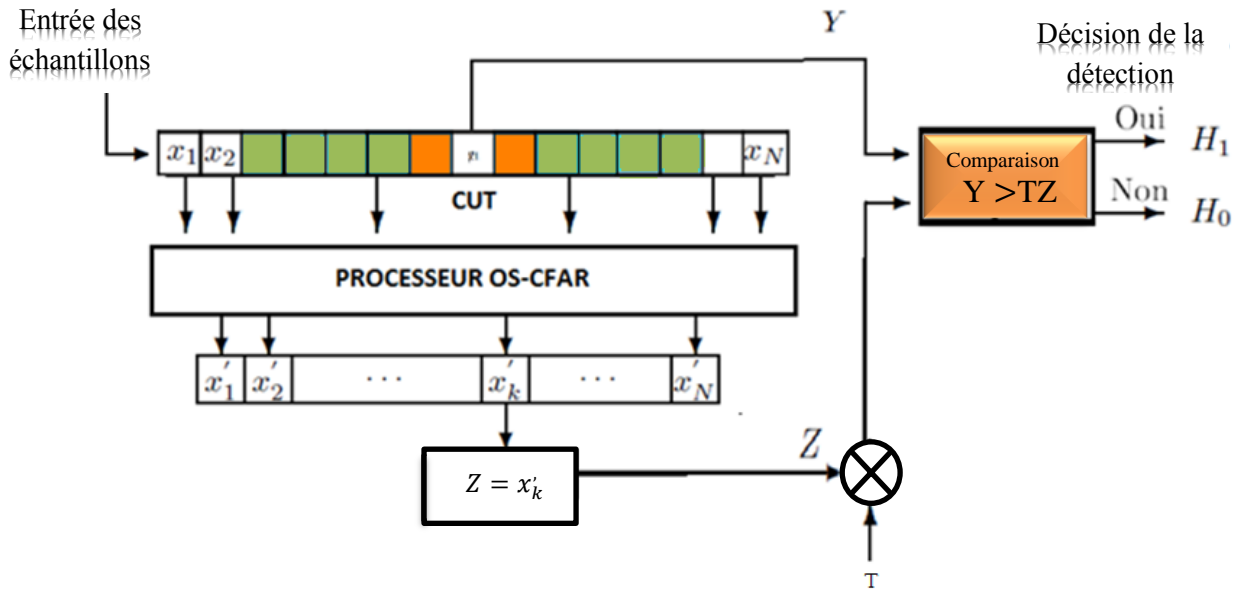


Figure (III.12) Processeur OS-CFAR

Ce détecteur offre une certaine immunité aux cibles interférentes. En effet les échos provenant de ces dernières occupent les positions les plus hautes dans la suite ordonnée (III.20) et seront par conséquent éliminés. Il est évident que si m est le nombre de cibles interférentes, qui apparaissent dans la fenêtre de référence, il faut choisir le paramètre k tel que $k \leq N - m$. Si cette condition n'est pas vérifiée, l'échantillon choisi correspondra à un écho d'une cible interférente et de ce fait la détection de la cible primaire se trouve compromise. Dans [13], l'analyse de l'effet du paramètre k sur les performances de détection dans un clutter de type gaussien a été étudiée et la valeur préconisée pour k est :

$$k = \frac{3N}{4} \tag{III.22}$$

Cette valeur offre un certain compromis entre l'immunité aux cibles interférentes et de faibles pertes de détection dans le cas d'un clutter homogène.

II.3.2.2 Étude probabiliste

La fonction densité de probabilité $f_{X_{(k)}}(x)$ du k ème échantillon de la suite ordonnée (III.20) est donnée par :

$$f_{X_{(k)}}(x) = k \binom{N}{k} [F_X(x)]^{k-1} [1 - F_X(x)]^{N-k} f_X(x) \tag{III.23}$$

Où N est le nombre d'échantillons ordonnés et $f_X(x)$ et $F_X(x)$ respectivement la densité de probabilité et la fonction de répartition d'un échantillon non ordonné.

Dans le cas d'une distribution de Rayleigh, l'équation (III.23) devient :

$$f_{X(k)}(x) = \frac{k}{\mu} \binom{N}{k} [e^{-x/\mu}]^{N-k+1} [1 - e^{-x/\mu}]^{k-1} \quad (\text{III.24})$$

Les expressions des probabilités de fausse alarme et de détection sont données par :

$$P_{fa} = k \binom{N}{k} \frac{\Gamma(N-k+T+1)\Gamma(k)}{\Gamma(N+T+1)} \quad (\text{III.25})$$

$$P_d = k \binom{N}{k} \frac{\Gamma(N-k+\frac{T}{(1+S)}+1)\Gamma(k)}{\Gamma(N+\frac{T}{(1+S)}+1)} \quad (\text{III.26})$$

Où T désigne le facteur d'échelle de l'OS-CFAR, S le rapport signal sur bruit, Γ la fonction gamma définie par :

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt, x > 0 \quad (\text{III.27})$$

Et qui se réduit à :

$$\Gamma(x + 1) = x! \quad (\text{III.28})$$

Dans le cas où x est un entier positif et :

$$\binom{N}{k} = \frac{N!}{k!(N-k)!} \quad (\text{III.29})$$

Le **TABLEAU III.2** donne le facteur d'échelle correspondant à différents couples courants de la probabilité de fausse alarme et du nombre de cellules de référence.

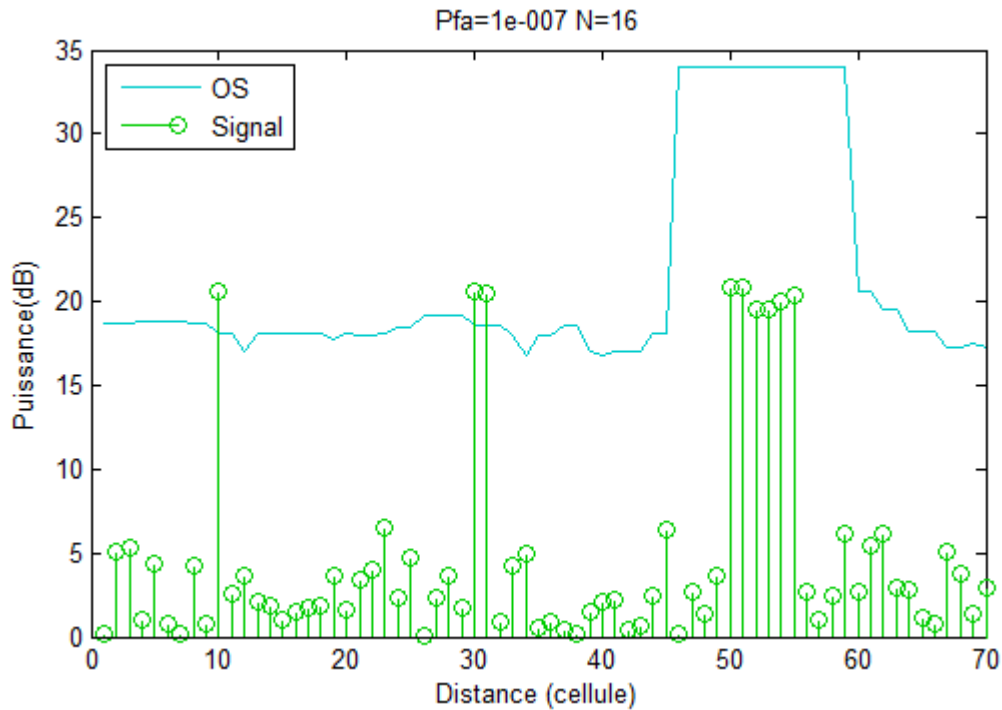
N \ Pfa	Pfa					
	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
8	5.874	11.09	18.78	30.08	46.70	71.09
16	4.434	7.429	11.08	15.54	20.95	27.54
24	4.026	6.509	9.346	12.59	16.30	20.52
32	3.842	6.088	8.585	11.34	14.40	17.78

TABLEAU III.2 Valeurs du facteur d'échelle de l'OS-CFAR.

II.3.2.3 Simulation

Comme pour le détecteur le CA-CFAR étudié ci-dessus, un signal aléatoire de 70 échantillons est utilisé pour la simulation du détecteur OS-CFAR. Le seuil adaptatif est tracé dans les environnements homogènes, à cibles interférentes et clutter et enfin à plus de 0.25 N cibles interférentes. La probabilité de détection du détecteur est aussi étudiée en fonction du rapport signal sur bruit en fixant la probabilité de fausse alarme et le nombre de cellules de référence.

La Figure III. 13 montre le comportement de l'OS-CFAR dans différents cas d'environnements. Sur l'axe des distances, il y a une cible à la cellule 10, deux cibles interférentes aux cellules 30 et 31, et un clutter aux cellules 50 à 55.



La Figure III.13: Évolution du seuil du détecteur OS-CFAR selon le degré d'homogénéité de l'environnement.

On constate sur **La Figure III.13** que la cible 10, située dans un environnement homogène, est détectée par l'OS-CFAR. Dans un tel environnement, l'OS-CFAR se comporte assez bien relativement au détecteur CA-CFAR, avec une priorité pour ce dernier l'OS-CFAR présente des pertes en détection par rapport au CA-CFAR. Lorsqu'il y a des cibles interférentes, les performances de l'OS-CFAR dépendent du nombre de ces cibles. si le nombre de cibles interférentes est inférieur ou égal à $0,25N$, soit à 2 dans le cas de la **Figure(III.13)** où $N = 16$, les cibles sont détectées, comme c'est le cas des deux cibles 30 et 31 ; dans le cas contraire les cibles ne peut être détectées. Enfin, les cellules de 50 à 55 présente un clutter, est évité par l'OS-CFAR parce que le seuil de détection de l'OS-CFAR est assez élevé.

Dans un environnement à cibles interférentes et/ou clutter, l'OS-CFAR se comporte donc mieux que le CA-CFAR en détectant des cibles interférentes dont le nombre ne dépasse pas $0,25N$, ou une cible noyée dans un clutter.

Concernant l'influence du rapport signal sur bruit SNR sur la probabilité de détection P_d , l'allure des courbes est identique à celle des courbes **Figure II.9 et II.11** du CA-CFAR, c'est-à-dire lorsque le nombre N de cellules de référence augmente ou que la probabilité de fausse alarme P_{fa} diminue, les performances de l'OS-CFAR s'améliorent.

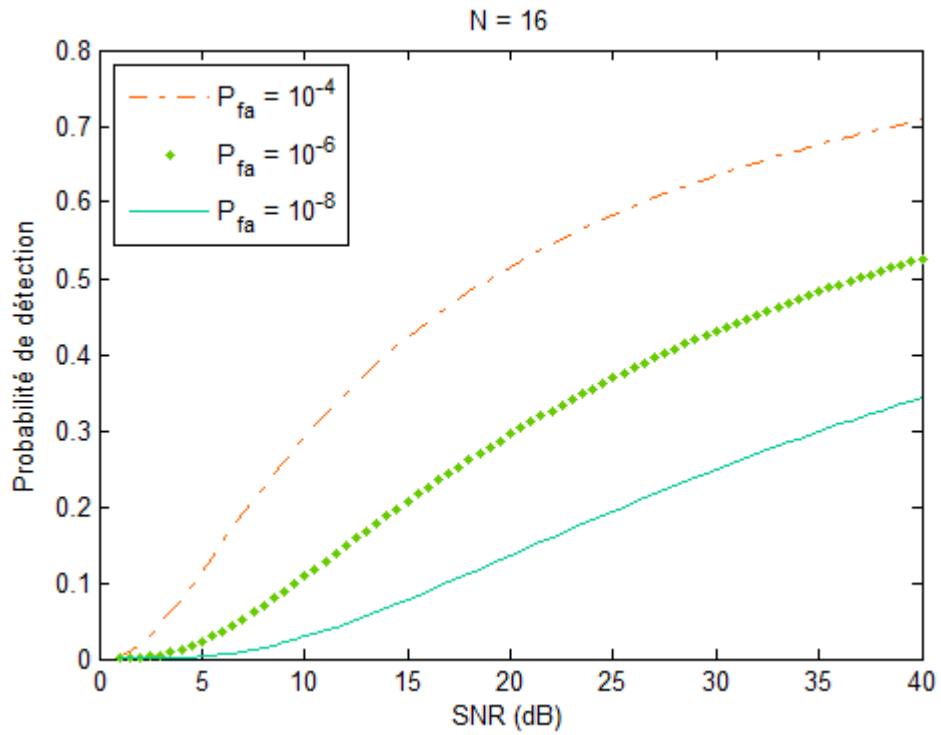


Figure III.14: Probabilité de détection de l’OS-CFAR en fonction de SNR (40) avec P_{fa} comme paramètre

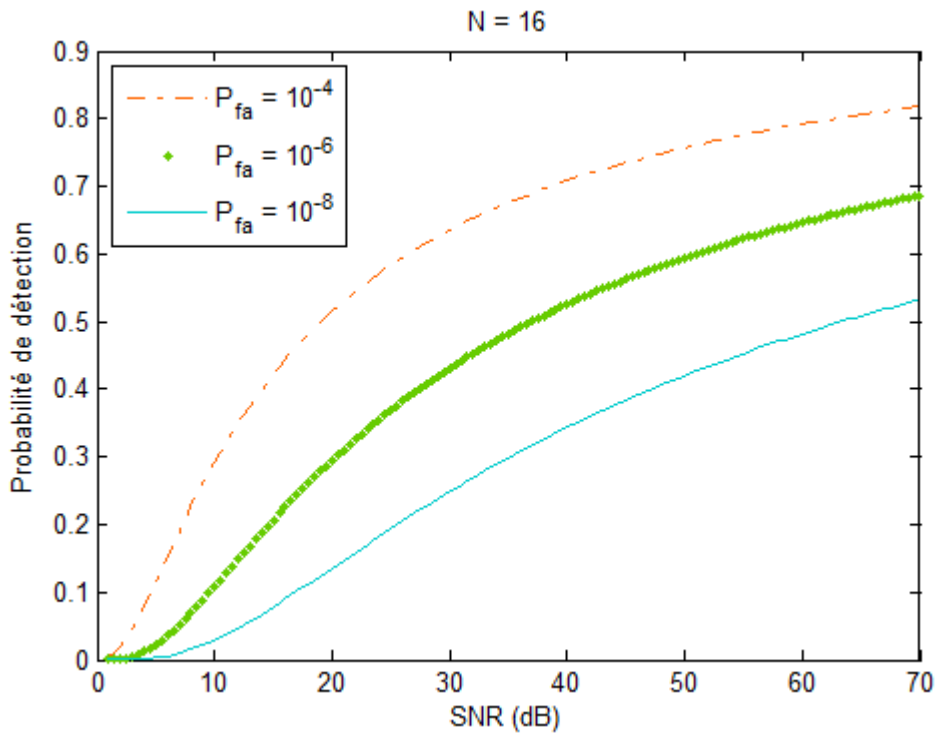


Figure III.15: Probabilité de détection de l’OS-CFAR en fonction de SNR (70) avec P_{fa} comme paramètre

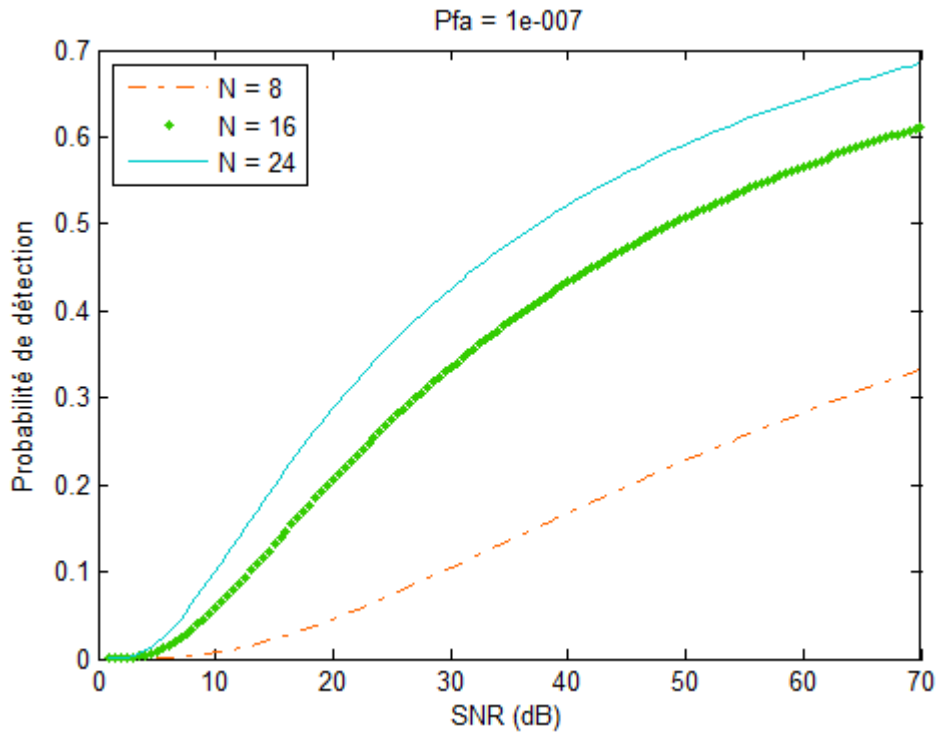


Figure III.16: Probabilité de détection de l'OS-CFAR en fonction de SNR (70) avec N comme paramètre

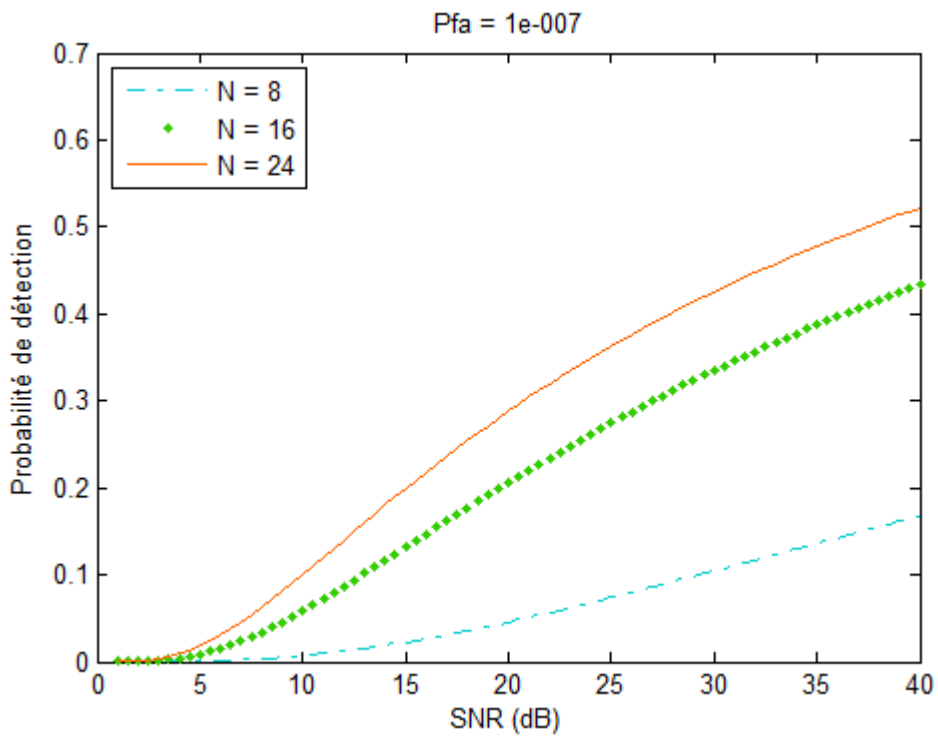


Figure III.17: Probabilité de détection en fonction de SNR (40) avec N comme paramètre

III.4 Comparaison C-CFAR/OS-CFAR

Dans les paragraphes précédents, les détecteurs CA-CFAR et OS-CFAR ont été séparément analysés dans divers environnements. Nous allons maintenant faire une comparaison entre eux à travers une étude de leur probabilité de détection en fonction du rapport signal sur bruit, en environnements homogène, quoi que la comparaison en un milieu non homogène soit réalisé dans la partie prochaine.

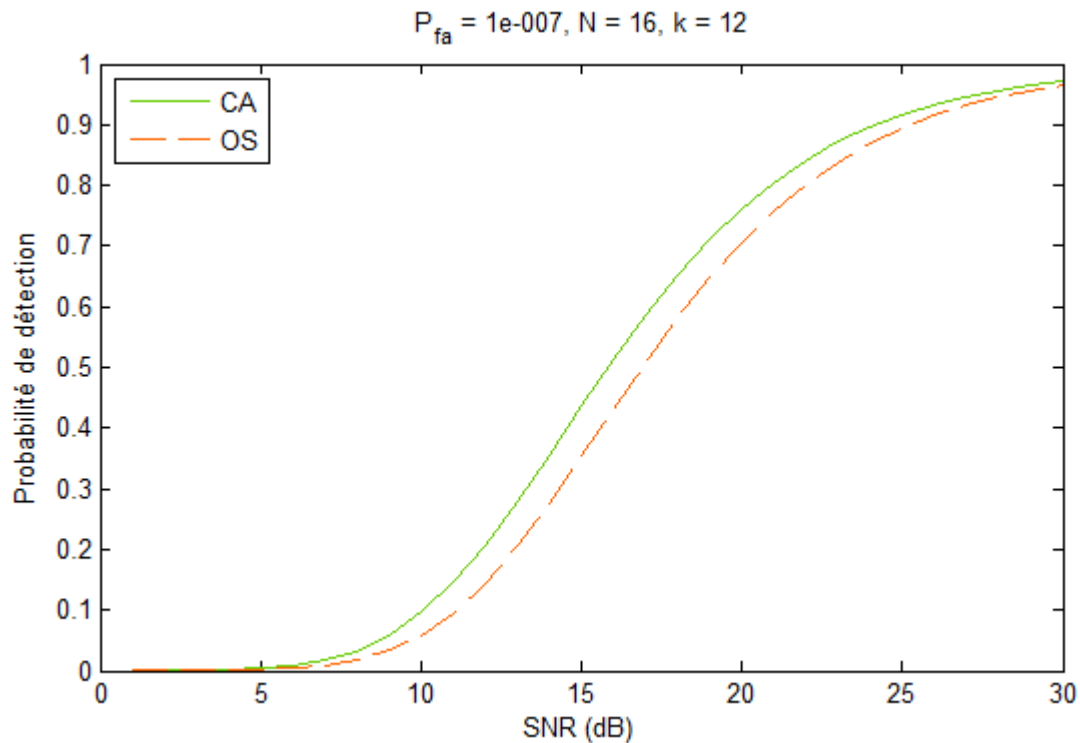


Figure III.18: Comparaison des probabilités de détection du CA-CFAR et de l'OS-CFAR en Environnement homogène.

Dans un environnement homogène la **Figure III.18** montre que les deux détecteurs ont des performances en détection similaires mais le CA-CFAR l'emporte légèrement sur l'OS-CFAR. Ce dernier a donc des pertes en détection par rapport au premier dans un milieu homogène..

III.5 Conclusion

Selon la nature du seuil de détection, les techniques de détection radar peuvent être classées en deux types : classiques, où le seuil de détection est fixe ; et adaptatives, appelées aussi CFAR, qui ont l'avantage de l'adaptation continue du seuil au niveau de bruit.

Il existe plusieurs types de détecteurs CFAR, dont le CA-CFAR et l'OS-CFAR. Le CA-CFAR est adapté aux environnements homogènes mais perd en performances en présence de clutter ou de cibles interférentes. L'OS-CFAR convient à la détection dans un milieu à cibles interférentes ; il fonctionne aussi dans un milieu homogène mais a des pertes en détection par rapport au CA-CFAR dans ce type de milieu.

CHAPITRE IV: ÉTUDE DU DÉTECTEUR PROPOSÉ C-CFAR

Résumé :

Dans ce chapitre nous avons étudié le détecteur C-CFAR, pour cela on a calculé du facteur de pondération beta, en suite le facteur d'échelle T et puis nous avons fait une comparaison entre les trois détecteurs étudiés dans ce projet

dans différentes situations.

IV.1 Introduction

Au chapitre précédent, nous avons analysé la méthode de détection CFAR en mettant l'accent sur les détecteurs CA-CFAR et l'OS-CFAR par la comparaison de leurs performances dans différents environnements. Il a été montré que dans un environnement homogène les deux détecteurs ont des performances comparables mais avec une légère supériorité du CA-CFAR sur l'OS-CFAR, celui-ci ayant des pertes en détection par rapport à celui-là ; dans un environnement à cibles interférentes, les performances du CA-CFAR se dégradent sérieusement alors que l'OS-CFAR reste relativement robuste, alors chacun de ces deux détecteur est destiné à accomplir une mission ou proprement dit destinée pour un environnement qui le convient, le CA-CFAR pour un environnement homogène et l'OS-CFAR pour un environnement non homogène, alors qu'en terme d'augmentation de performances on préfère un même détecteur pour toutes situations d'environnement que ce soit homogène ou non c'est le scénario réel, remarquant que les deux détecteurs CA-CFAR et l'OS-CFAR se complémentent, on a pensé à les combinés pour cela

Est- ce-que c'est possible de combiner les détecteurs CA-CFAR et l'OS-CFAR ?

Et si c'est faisable en de telles façons on va les combiner ?

Par la suite on va répondre à cette problématique

La réponse est oui, c'est possible de combiner les deux détecteurs CA-CFAR et l'OS-CFAR, la méthode dont on va faire la combinaison est éclairée par la suite :

Dans ce chapitre, nous présentons un nouveau détecteur avec comme objectif de se rapprocher du CA-CFAR dans un environnement homogène avec des pertes en détection moindres que celles de l'OS-CFAR, et de l'OS-CFAR dans un environnement à cibles interférentes pour éviter les dégradations de performances du CA-CFAR. Les performances du détecteur proposé sont ensuite comparées à celles du CA-CFAR et de l'OS-CFAR en utilisant la méthode de simulation Monte-Carlo.

IV.2 Principe de fonctionnement

Le système de détection proposé, nommé C-CFAR (Combined-CFAR, combinaison du CA-CFAR et OS-CFAR), est une combinaison linéaire des détecteurs CA-CFAR et OS-CFAR dont les coefficients s'adaptent automatiquement à l'environnement. Pour décider de la présence ou non d'une cible dans la cellule sous test, le détecteur C-CFAR procède d'abord à l'estimation Z du niveau de bruit dans les cellules de référence en utilisant l'expression :

$$Z = \beta Z_{CA} + (1 - \beta)Z_{OS} \tag{IV.1}$$

Où Z_{OS} et Z_{CA} sont les niveaux de bruit, dans les cellules de référence, estimés respectivement par le CA-CFAR et l'OS-CFAR et β un coefficient réel de pondération qui s'adapte au niveau de bruit dans les cellules de référence. L'estimée Z est ensuite multipliée par un facteur d'échelle T et le résultat est comparé à l'amplitude Y de l'échantillon dans la cellule sous test. À l'issue de la comparaison, si $Y > TZ$ alors l'hypothèse H_1 (cible présente dans la cellule sous test) est déclarée vraie, sinon l'hypothèse alternative H_0 (cible absente dans la cellule sous test) est déclarée vraie.

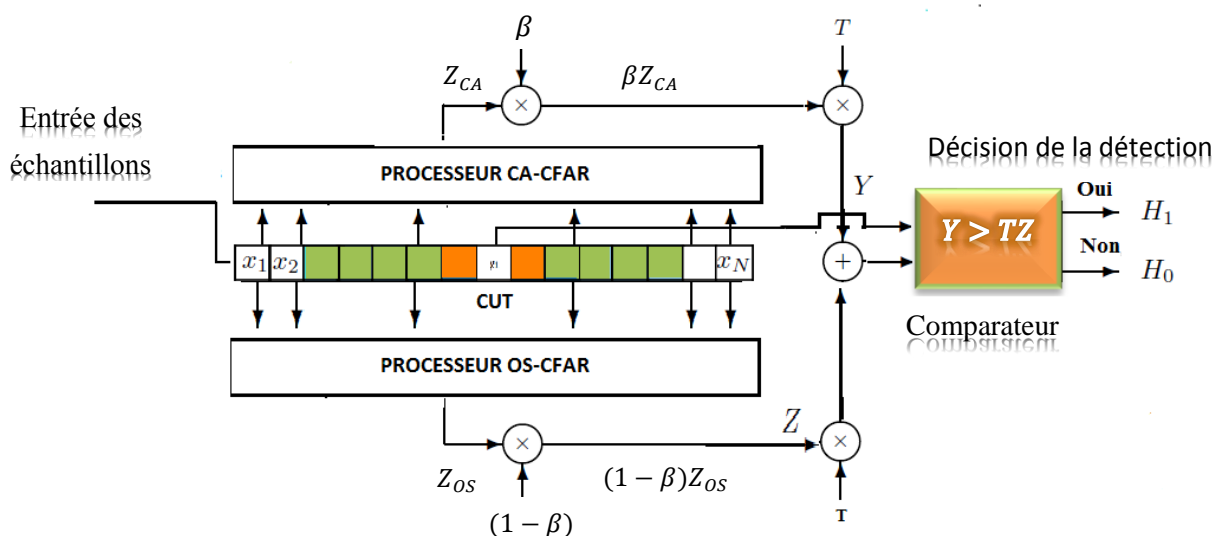


Figure IV.1: Processeur C-CFAR

- Le calcul du coefficient β se fait en deux étapes.

Étape 1 : La fenêtre de référence est ordonnée par ordre croissant pour former une nouvelle fenêtre W qui sera partitionnée en deux sous-fenêtres W_0 et W_1 par la règle

$$k \begin{matrix} W_1 \\ \geq \\ W_0 \end{matrix} K \tag{IV.2}$$

C'est-à-dire la cellule de référence $Z_k \in W$; $k = 1, 2, \dots, N$, appartient à W_1 si $k > K$ et à W_0 si $k \leq K$, où K est un seuil entier **Figure IV.2**.

Étape 2 : Les deux sous-fenêtres W_0 et W_1 sont ensuite utilisées pour calculer le coefficient β suivant l'expression :

$$\beta = \frac{1}{K \cdot Z_N} \sum_{k=1}^K Z_k \tag{IV.3}$$

Où Z_N est la plus grande des amplitudes des échantillons de la fenêtre de référence (donc de W_1) et Z_k l'échantillon de rang k de la sous-fenêtre W_0 .

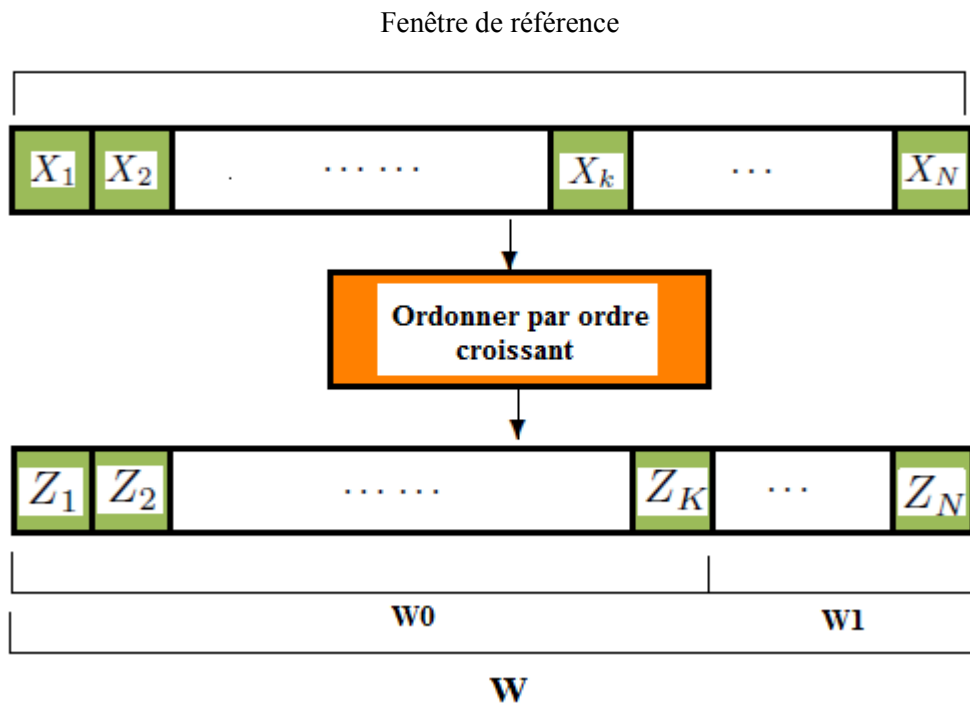


Figure IV.2: Illustration de l'étape 1 du calcul de β .

Il faut préciser que l'estimée Z_{CA} figurant dans l'équation (IV.1) est la moyenne arithmétique des échantillons dans la fenêtre de référence, et non la somme de ces échantillons comme dans le CA-CFAR (cf. III.3.1).

L'utilisation de la moyenne au lieu de la somme s'impose pour rendre Z_{CA} et Z_{OS} comparables. Les expressions de Z_{CA} et Z_{OS} sont données par :

$$Z_{CA} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N Z_k \quad (\text{IV. 4})$$

$$Z_{OS} = Z_{K_{OS}} \quad (\text{IV. 5})$$

Où N est le nombre de cellules de référence et K_{OS} l'ordre de l'échantillon qui sert d'estimée pour l'OS-CFAR. La valeur préconisée (cf. III.3.2) pour K_{OS} est $0,75N$. Dans la suite de l'étude, nous prendrons $K_{OS} = 0,75N$ et le seuil entier K introduit à l'équation (IV.3) sera aussi pris égal à K_{OS} . Le choix de $K = K_{OS}$ est dicté par l'objectif de n'avoir dans la fenêtre W_0 que des échantillons de bruit tout en donnant à W_0 un nombre de cellules aussi grand que possible. L'avantage de ces deux exigences imposées à W_0 est développé ci-dessous.

L'équation (IV.3) signifie que β est la moyenne arithmétique de W_0 divisée par l'échantillon d'amplitude la plus élevée dans la fenêtre de référence. Il en résulte que β est toujours compris entre 0 et 1. Selon la valeur de β , le détecteur CA-CFAR est plus ou moins favorisé par rapport à l'OS-CFAR et vice versa. Pour montrer comment Z s'adapte à l'environnement, plusieurs cas sont à distinguer.

Lorsque l'environnement est homogène, c'est-à-dire sans cibles interférentes ni clutter, si tous les échantillons dans la fenêtre de référence sont d'amplitudes comparables, le facteur de pondération β se rapproche de 1 et le détecteur CA-CFAR, qui est adapté aux environnements homogènes, est favorisé dans l'estimation du seuil. S'il y a une cible interférente, β devient plus faible que dans le cas précédent car l'échantillon de plus grande amplitude dans la fenêtre de référence correspond probablement à la cible interférente ; l'OS-CFAR, qui est adapté aux environnements à cibles interférentes, a donc plus de poids dans ce cas. S'il y a un clutter et/ou plusieurs cibles interférentes, β reste aussi proche de 0 que dans le deuxième cas (une seule cible interférente) et pratiquement

seul l'OS-CFAR intervient dans l'estimation du seuil. Le C-CFAR favorise donc l'un ou l'autre des détecteurs CA-CFAR et OS-CFAR selon le degré d'homogénéité de l'environnement.

IV.3 Étude du coefficient Beta

Dans cette section, nous étudions l'influence du facteur de pondération β sur l'estimation Z du niveau de bruit dans la fenêtre de référence donnée par l'équation (IV.1), ainsi que l'influence de l'environnement sur β . En réécrivant l'équation (IV.1) de la manière suivante :

$$Z = (Z_{CA} - Z_{OS})\beta + Z_{OS} \quad (IV.6)$$

On constate que Z est linéaire en fonction de β et que lorsque $Z_{CA} > Z_{OS}$, Z est croissante suivant β et puisque $0 < \beta \leq 1$, l'estimée Z appartient à l'intervalle $[Z_{CA}, Z_{OS}]$ (**Figure IV.3 (a)**). De même, lorsque $Z_{CA} < Z_{OS}$, Z est décroissante suivant β et appartient donc au même intervalle (**Figure IV.3 (b)**). On en déduit que l'estimation Z du niveau de bruit dans la fenêtre de référence est toujours comprise entre les estimations Z_{CA} et Z_{OS} données par le CA-CFAR et

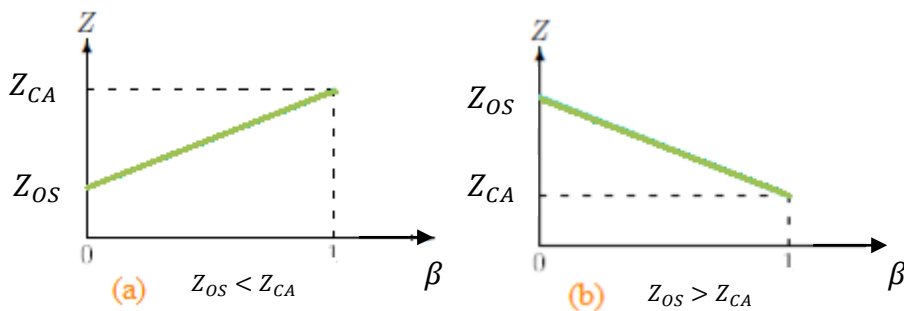


Figure IV.3: Variations du seuil du C-CFAR selon β

L'OS-CFAR respectivement. En outre, lorsque β tend vers 1, Z tend vers Z_{CA} et lorsque β se rapproche de 0, Z se rapproche de Z_{OS} . Ces constatations confirment l'aptitude du détecteur C-CFAR à s'adapter au niveau de bruit environnant, à supposer que β tende vers 1 dans un environnement homogène et vers 0 dans un environnement à cibles interférentes et/ou clutter.

Cependant, les échantillons dans la fenêtre de référence étant ordonnés par ordre croissant, les amplitudes des échantillons les plus petits risquent d'être trop faibles par rapport à l'échantillon d'amplitude maximale ; ce qui peut rendre β plus proche de 0 que de 1 et ce, même en absence de cibles interférentes. Il est donc nécessaire d'étudier quantitativement β .

Pour cela, nous considérerons deux cas : environnement à bruit seul et environnement à une seule cible interférente. Nous supposons, en absence de cibles interférentes et de clutter, que les amplitudes des échantillons de bruit dans les cellules de référence sont des variables aléatoires indépendantes identiquement distribuées et de distribution exponentielle, ce qui correspond au modèle 1 de Swerling (cf. I.1.9.1).

Dans le premier cas, où les cellules de référence ne contiennent que du bruit, le coefficient β est une variable aléatoire car il est composé de variables aléatoires (cf. équation (IV. 3)). On peut donc calculer son espérance mathématique. Le calcul de l'espérance mathématique de β est fait par la méthode Monte-Carlo en raison des difficultés inhérentes au calcul analytique de la densité de probabilité de β .

Les résultats sont présentés au **TABLEAU IV.1** où N représente le nombre de cellules de référence et $E_{\beta}(\beta)$ l'espérance mathématique de β .

Le **TABLEAU IV.1** montre, contrairement à ce que l'on espérait, que le coefficient β ne se rapproche pas plus de 1 que de 0 en environnement homogène : la valeur de $E_{\beta}(\beta)$ observée

N	8	16	24	32
$E_{\beta}(\beta)$	0.244	0.185	0.160	0.147

TABLEAU IV.1 Moyenne de β pour différentes valeurs de N lorsqu'il y a du bruit seul.

Pour $N = 8$ est de 0.25, qui est plus proche de 0 que de 1, et $E_{\beta}(\beta)$ diminue lorsque N augmente. Comme conséquence, lorsqu'il y a du bruit seul, le poids du CA-CFAR est de seulement 24 % alors que celui de l'OS-CFAR monte jusqu'à 76 % pour $N = 8$. Dans le deuxième cas, où les cellules de référence contiennent du bruit ainsi qu'une seule cible interférente, les résultats pour l'espérance mathématique $E_{\beta}(\beta)$ sont montrés par le **TABLEAU IV.2** :

N	8	16	24	32
$E_{\beta}(\beta)$	0.066	0.054	0.049	0.047

TABLEAU IV.2 Moyenne de β pour différentes valeurs de N en présence d'une seule cible interférente de SNR = 15 dB.

On constate, d'après le **TABLEAU IV.2**, que $E_{\beta}(\beta)$ chute à 0.066 pour $N = 8$ en présence d'une cible interférente de 15 dB de rapport signal sur bruit. Dans ces conditions, le poids du CA-CFAR est d'environ 7 % et celui de l'OS-CFAR de 93 %.

Le C-CFAR se comporte donc effectivement comme l'OS-CFAR en présence d'une cible interférente. En outre, le **TABLEAU IV.2** montre que plus le nombre N de cellules de référence augmente, plus le C-CFAR se rapproche de l'OS-CFAR. S'il y a deux cibles interférentes, les résultats seront semblables à ceux d'une seule cible interférente car la deuxième cible interférente n'intervient pas dans le calcul de β . L'étude de β au-delà de $0.25N$ cibles interférentes n'est pas intéressante car dans ces conditions aucun des détecteurs CA-CFAR et OS-CFAR ne fonctionne correctement (cf. équation(IV.5)).

En conclusion, l'hypothèse le C-CFAR se rapproche du CA-CFAR en environnement homogène et de l'OS-CFAR en environnement à cibles interférentes est plus valable en environnement à cibles interférentes qu'en environnement homogène

IV.4 Facteur d'échelle

Le facteur d'échelle T permet de contrôler la probabilité de fausse alarme des détecteurs CFAR.

D'une manière générale, le facteur T est lié à la probabilité de fausse alarme P_{fa} par :

$$\begin{aligned} P_{fa} &= E_Z \left[P \left(Y > \frac{TZ}{H_0} \right) \right] \\ &= E_Z \left[\int_{\frac{TZ}{H_0}}^{\infty} f_{Y/H_0}(y/H_0) dy \right] \end{aligned} \quad (IV.7)$$

Nous supposons que la densité de probabilité du bruit dans les cellules de référence soit exponentielle et que ce bruit soit additif. Ainsi, sous l'hypothèse H_0 , c'est-à-dire lorsqu'il y a du bruit seul, la densité de probabilité des amplitudes des échantillons dans les cellules de référence est [3] :

$$f_{Y/H_0}(y/H_0) = \frac{1}{2\sigma^2} \exp \left[-\frac{y}{2\sigma^2} \right] \quad (IV.8)$$

Où σ^2 est la puissance du bruit ; sous l'hypothèse H_1 , c'est-à-dire lorsque le bruit est additionné à un signal de rapport signal sur bruit S, cette densité de probabilité devient :

$$f_{Y/H_1}(y/H_1) = \frac{1}{2\sigma^2(1+S)} \exp \left[-\frac{y}{2\sigma^2(1+S)} \right] \quad (IV.9)$$

En substituant l'équation (IV.8) dans (IV.7) et en calculant l'intégrale, on trouve que l'expression de la probabilité de fausse s'écrit :

$$P_{fa} = E_Z \left[\exp \left(-\frac{TZ}{2\sigma^2} \right) \right] \quad (IV.10)$$

Le calcul formel du deuxième membre de l'équation IV.10 nécessite la connaissance de la densité de probabilité de la variable aléatoire Z, ce qui n'est pas le cas en raison de la complexité de l'expression IV.1 de la variable aléatoire Z, réécrite ci-dessous :

$$Z = \beta Z_{CA} + (1 - \beta) Z_{OS} \quad (IV.11)$$

Qui est une combinaison des variables Z_c , Z_{os} et β qui sont elles aussi aléatoires et de densités de probabilité différentes ; de plus, β est le rapport de deux variables aléatoires.

Néanmoins, nous avons exploité l'expression (IV.10) pour évaluer à l'aide d'un programme Matlab le facteur d'échelle T du détecteur C-CFAR pour différentes probabilités de fausses et différentes valeurs du nombre N de cellules de référence (TABLEAU IV.3).

N \ Pfa	Pfa					
	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
8	5.93	11.0	18.2	29.0	44.7	67.3
16	4.55	7.55	11.2	15.6	20.7	26.7
24	4.15	6.66	9.47	12.9	16.4	20.5
32	3.95	6.23	8.76	11.6	14.6	17.9

TABLEAU IV.3 Valeurs du facteur d'échelle du C-CFAR pour $K = KOS = 0,75N$

*Des abaques donnant la probabilité de fausse alarme en fonction de T et de N sont fournis à l'annexe A.

IV.5 Simulation et comparaison

Dans cette partie, les performances du détecteur C-CFAR seront comparées à celles des détecteurs CA-CFAR et OS-CFAR dans différents environnements. La comparaison est basée en première partie sur le seuil de détection et en deuxième partie sur le tracé de la probabilité de détection en fonction du rapport signal sur bruit.

IV.5.1 Simulation et comparaison du seuil de détection

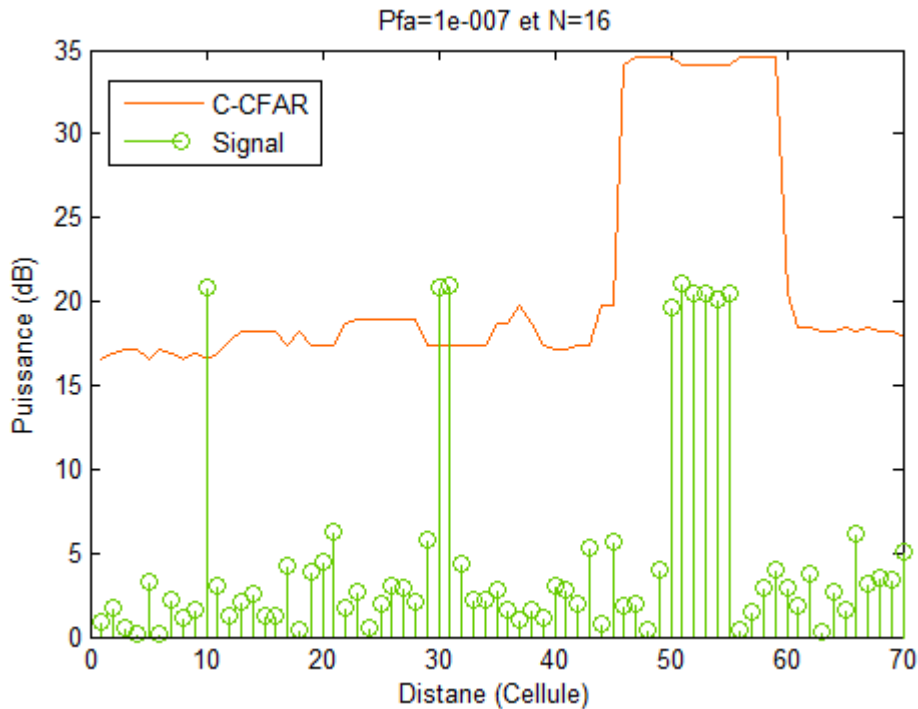


Figure IV.4 : Évolution du seuil du détecteur CA-CFAR selon le degré d'homogénéité de l'environnement.

Comme pour le CA-CFAR et OS-CFAR on a étudié les mêmes situations pour le nouveau détecteur C-CFAR pour faire à la suite une comparaison entre eux, **La Figure IV.4** illustre l'évolution du seuil de détection du C-CFAR dans différents cas d'environnement. Sur l'axe des distances, il y a une cible à la cellule 10, deux cibles interférentes entre elles aux cellules 30 et 31, et enfin un clutter à les cellules de 50 à 55, La cible à la cellule 10 ne peut pas interférer avec les cibles aux cellules 30 et 31 car la distance entre les cellules 10 et 30 est supérieure à 16, qui est le nombre de cellules de référence utilisé. Il en est de même de la cellule 50-55 vis-à-vis des cellules 30 et 31.

Sur la **Figure IV.4** la cible à la cellule 10, se trouvant dans un environnement homogène, est détectée par le C-CFAR. Probablement la détection à rapprocher ou bien balancer vers le détecteur CA-CFAR. Aussi on remarque la détection des deux cibles aux cellules 30 et 31 dans ce cas on note que la détection à balancer vers le détecteur OS-CFAR.

Enfin, les cellules de 50 à 55 présentent un clutter, est évité par le C-CFAR parce que le seuil de détection du C-CFAR est élevé dans le cas que l'amplitude assez élevée du clutter.

D'une manière générale, plus le clutter pénètre dans la fenêtre de référence, plus le seuil monte et la Pfa se diminue, ce qui implique une détection performante.

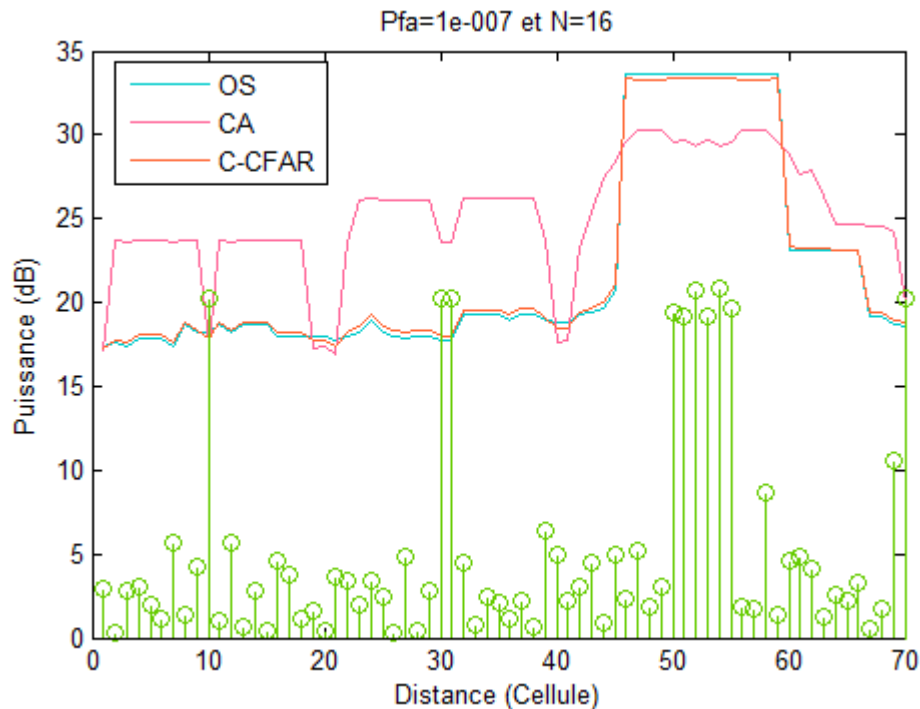


Figure IV.5: Comparaison entre le C-CFAR et le CA CFAR et l'OS-CFAR
En termes de seuil de détection

La Figure IV.5 illustre une comparaison des seuils de détection du C-CFAR avec les deux détecteurs CA-CFAR et L'OS-CFAR dans différents situations d'environnement pour but de suivre le comportement du C-CFAR par rapport les deux autre détecteurs, on a remarqué que dans un environnement homogène le C-CFAR se trouve entre les deux détecteurs mais en rapprochant au CA-CFAR, en cas de cibles interférentes cellules 30 et 31 le C-CFAR balance vers l'OS-CFAR est c'est le même comportement du C-CFAR en cas de présence du clutter, veut dire :

Dans un environnement non homogène le C-CFAR balance vers l'OS-CFAR, arrivant à ce point on note qu'on a accompli l'objectif de ce projet.

IV.5.2 Simulation et comparaison de la probabilité de détection en fonction du SNR

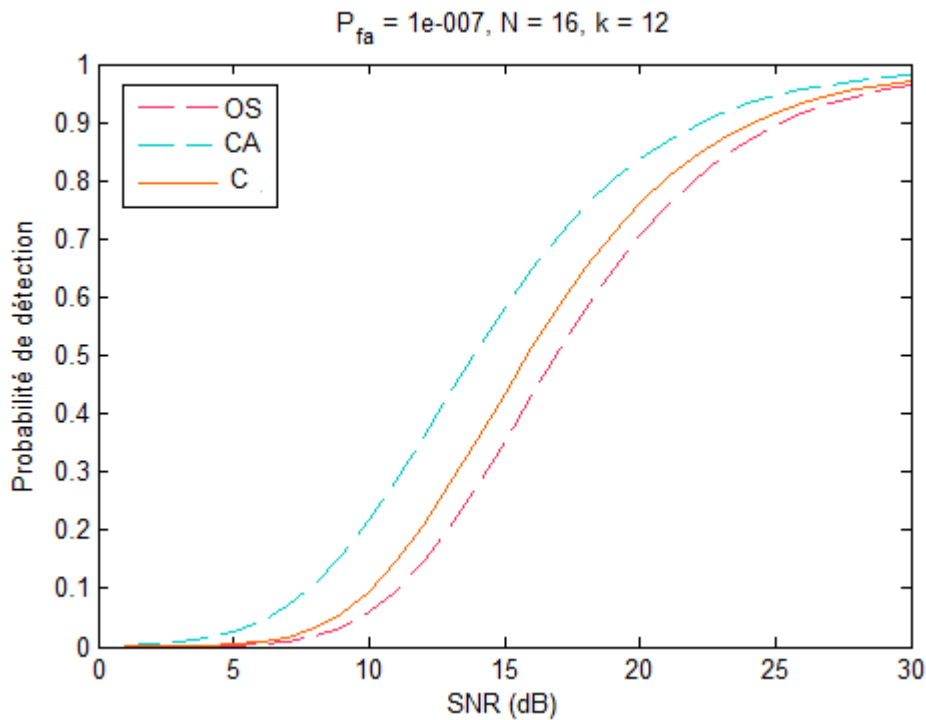


Figure IV.6 : Comparaison des probabilités de détection de CA-CFAR, OS-CFAR et C-CFAR dans un milieu homogène.

La comparaison sur la base des tracés de la probabilité de détection est réalisée en utilisant la méthode Monte-Carlo. Celle-ci s'impose car pour le détecteur C-CFAR l'expression formelle liant la probabilité de détection au rapport signal sur bruit n'est pas encore connue. Les simulations sont faites avec 16 cellules de référence et une probabilité de fausse alarme de 10^{-7} . Quatre cas d'environnements seront envisagés : sans cibles interférentes (milieu homogène) et avec une, trois et cinq cibles interférentes (milieu non homogène). Dans le cas d'un environnement homogène, c'est-à-dire sans cibles interférentes, la **Figure IV.6** montre que les trois détecteurs CA-CFAR, OS-CFAR et C-CFAR ont des probabilités de détection proches l'une de l'autre mais le C-CFAR présente de meilleures performances que l'OS-CFAR tout en restant moins performant que le CA-CFAR. Il est connu que l'OS-CFAR a des pertes en détection par rapport au CA-CFAR dans un environnement homogène; le C-CFAR réduit donc ces pertes dans un tel environnement.

Dans un environnement à une seule cible interférente, la probabilité de détection du CA-CFAR se dégrade tandis que l'OS-CFAR reste performant : le C-CFAR demeure très proche de l'OS-CFAR **Figure IV.7**. Si le nombre de cibles interférentes augmente tout en restant inférieur à celui toléré par l'OS-CFAR (4 cibles interférentes sont tolérées par l'OS-CFAR pour $N = 16$), la dégradation des

performances du CA-CFAR s'accroît, l'OS-CFAR n'est pas affecté et le C-CFAR aussi rapproche de l'OS-CFAR **Figure IV.7, IV.8**

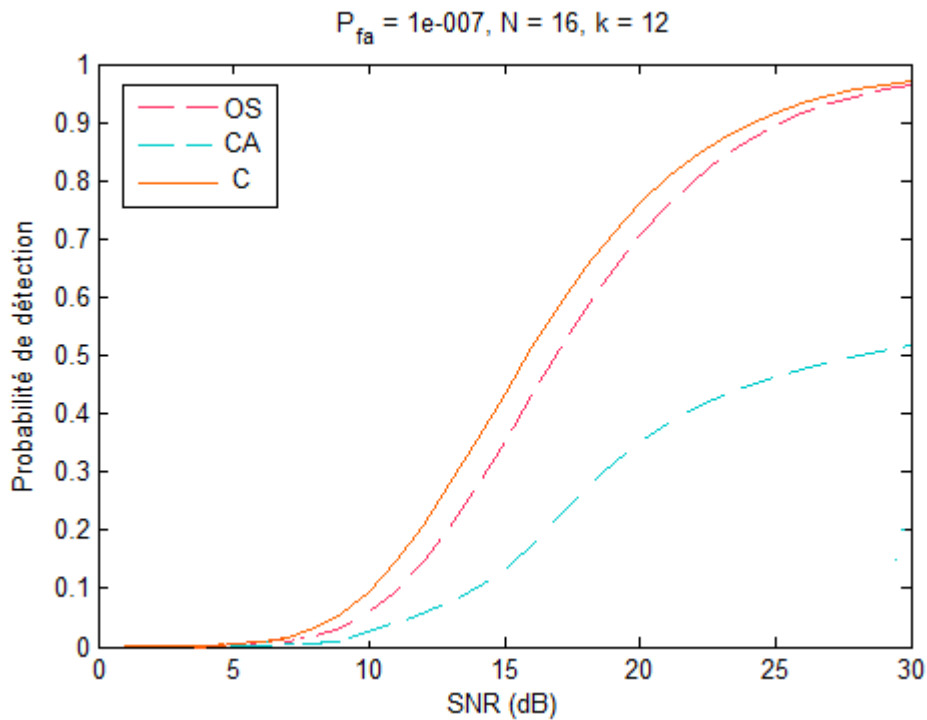


Figure IV.7: Comparaison des probabilités de détection de CA-CFAR, OS-CFAR et C-CFAR dans un milieu en présence d'une cible interférente.

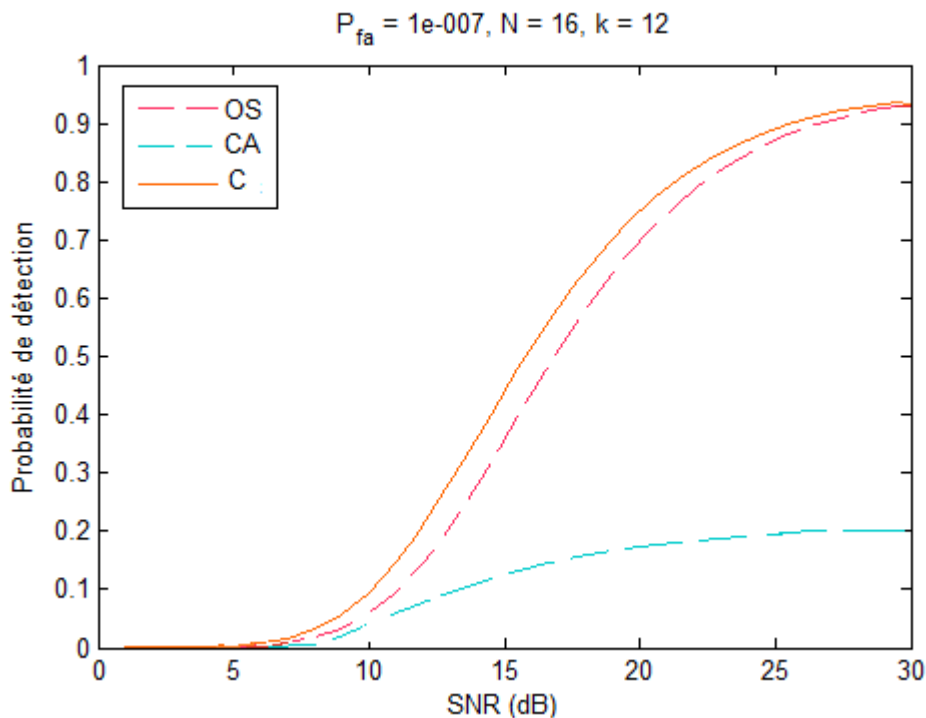


Figure IV.8: Comparaison des probabilités de détection de CA-CFAR, OS-CFAR et C-CFAR dans un milieu en présence de 3 cibles interférentes.

Enfin, dans un environnement où le nombre de cibles interférentes est supérieur à celui toléré par l'OS-CFAR, le comportement du C-CFAR est identique à celui de l'OS-CFAR. Comme les performances de ce dernier sont affectées dans ce cas, le C-CFAR se dégrade et il devient non performant **Figure IV.9**.

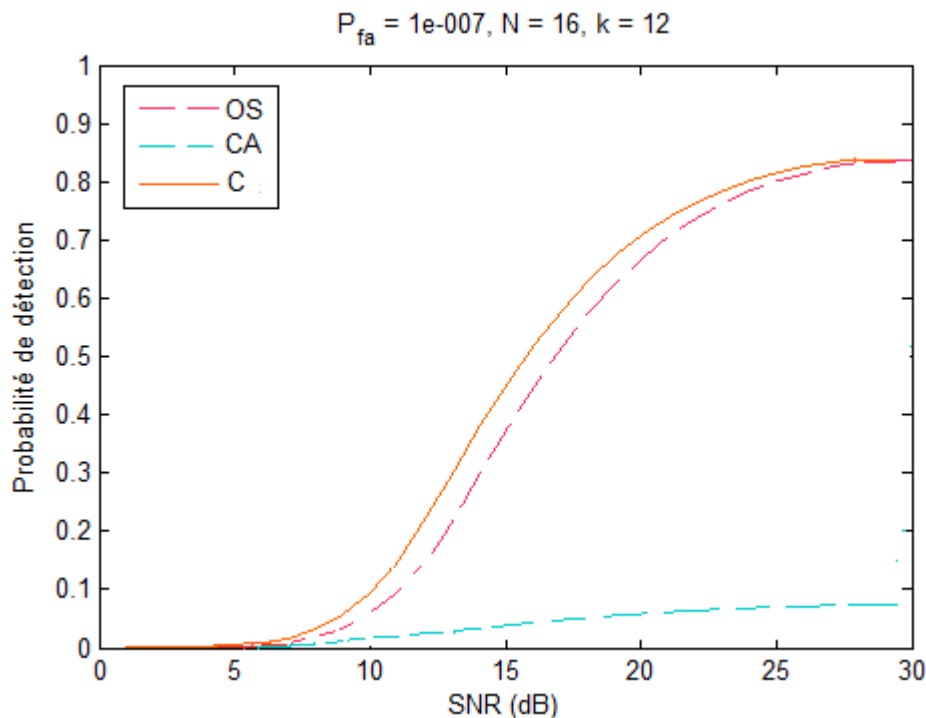


Figure IV.9: Comparaison des probabilités de détection de CA-CFAR, OS-CFAR et C-CFAR dans un milieu en présence de 5 cibles interférentes.

En conclusion, le C-CFAR offre un compromis entre le CA-CFAR et l'OS-CFAR. En environnement homogène, le C-CFAR est plus performant que l'OS-CFAR tout en restant proche du CA-CFAR, qui est conçu pour travailler dans un environnement homogène. Par contre, lorsqu'il y a des cibles interférentes, le C-CFAR se rapproche de l'OS-CFAR, qui est conçu pour supporter les environnements à cibles interférentes, et évite les dégradations de performances qui caractérisent le CA-CFAR.

Un nouveau détecteur CFAR, baptisé C-CFAR, a été présenté, analysé et comparé dans ce chapitre aux détecteurs CA-CFAR et OS-CFAR. Le C-CFAR est une combinaison linéaire des détecteurs CA-CFAR et OS-CFAR. Les coefficients de cette combinaison sont formés par un coefficient β qui varie selon le degré d'homogénéité de l'environnement, ce qui confère au détecteur C-CFAR une aptitude à l'adaptation automatique lorsque l'environnement change ou le nombre de cibles interférentes change.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion

Les travaux présentés dans ce mémoire s'inscrivent dans le développement incessant des systèmes modernes de détection radar. Le projet a consisté en la conception d'un système de détection radar combiné de deux détecteurs. Pour présenter le travail, la présente thèse a commencé par positionner le travail envisagé en précisant la problématique et l'objectif puis a donné l'essentiel des notions théoriques qui allaient aider le lecteur à suivre le travail proposé. Le chapitre trois a donné les éléments de conception du détecteur visé. On a tout d'abord décrit le système radar pour poser les fondations de notre travail bien que notre sujet déroule et s'articule sur le système radar. On a ainsi étudié le processeur à taux du fausse alarme constant (CFAR constant false alarm rate) qui est basé sur la détection adaptative ensuite on a opté à étudier quelques détecteurs CFAR qu'on les utilisera dans la suite du travail, les détecteurs sont le CA-CFAR cell avairaging CFAR et l'OS –CFAR ordred statistics CFAR, on a entamé le nouveau processeur CFAR qui fait la combinaison de deux processeurs CA-CFAR et OS-CFAR dont le but est d'optimiser les performances du détecteur CFAR.

Pour faire adapter le radar avec toutes situations rencontrées, Le principe de ce nouveau détecteur est de combiner d'une manière optimale l'estimation du seuil des détecteurs CA-CFAR et OS-CFAR sur la base des caractéristiques de l'environnement observé. Ce détecteur exige une sensibilité des cellules de la fenêtre de référence tout en appliquant un facteur de pondération adaptatif à l'état de l'environnement pour produire une décision de détection efficace et assurer une perte CFAR réduite. L'application du détecteur C-CFAR dans un environnement homogène ou en présence de cibles interférentes ou de clutter est démontrée en utilisant un facteur de pondération adaptatif. La simulation qui était basée sur MONTE CARLO experiments a fait montrer de très bonnes performances du détecteur C-CFAR par rapport au détecteur CA-CFAR dans un environnement non homogène, et une robustesse du détecteur OS-CFAR en présence de cibles interférentes et clutter et avec la moindre perte CFAR en comparaison avec le détecteur OS-CFAR dans un environnement homogène.

Suggestion à des futurs travaux

Nous pensons qu'il serait intéressant de continuer les investigations sur les performances de ce détecteur qui s'annonce prometteur.

Il serait intéressant aussi d'affronter le thème ci-dessous :

« Fusion entre CA et ces dérivés SO, GO en plus OS par un système de commutation qui fait le choix de ces détecteurs selon la situation donnée ».

Annexe A

Abaques de calcul du facteur d'échelle T pour le C-CFAR

Cette annexe fournit des abaques pour le calcul du facteur d'échelle T du détecteur ALCCFAR en fonction de la probabilité de fausse alarme P_{fa} et du nombre N de cellules de référence.

La plage des probabilités de fausse alarme couvertes va de 10^{-2} à 10^{-10} , alors que le nombre de cellules de référence varie quant lui de 8 à 32 par pas de 8. Pour plus de précision, les abaques sont répartis en plages d'une décade selon la probabilité de fausse alarme (Figure A.1-A.8).

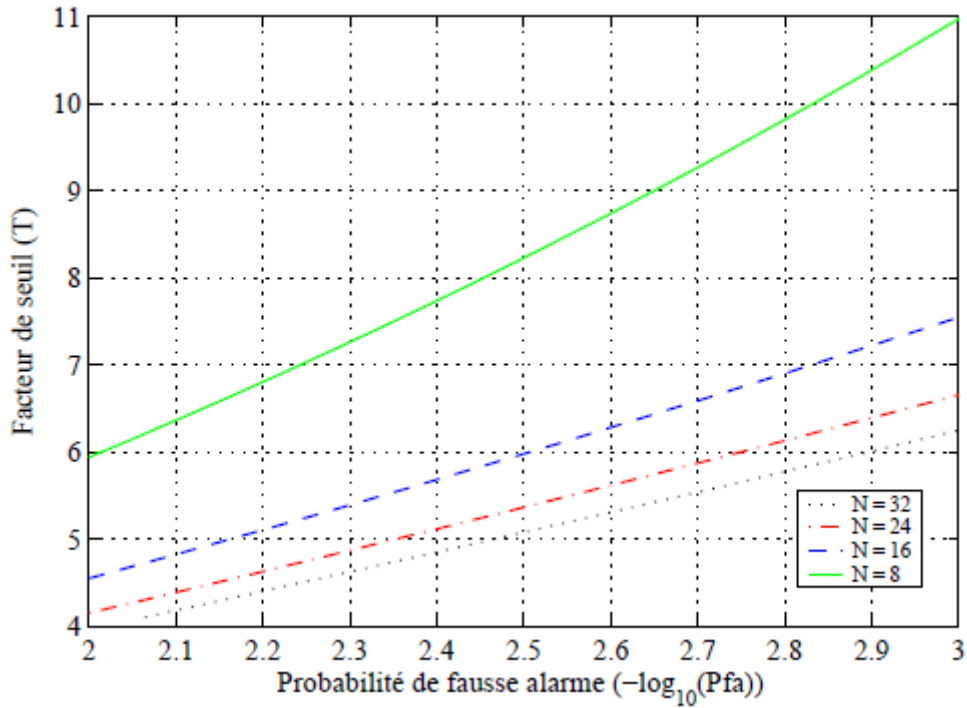


Figure A.1 - Abaque de T pour $P_{fa} = 10^{-2}, 10^{-3}$.

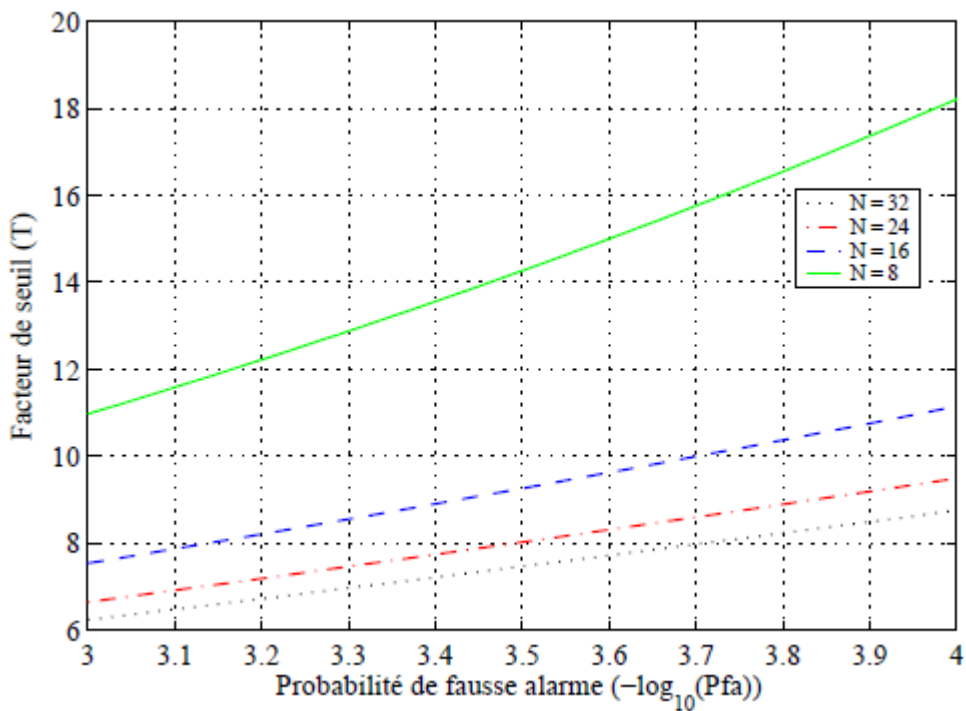


Figure A.2 - Abaque de T pour $P_{fa} = 10^{-3}, 10^{-4}$.

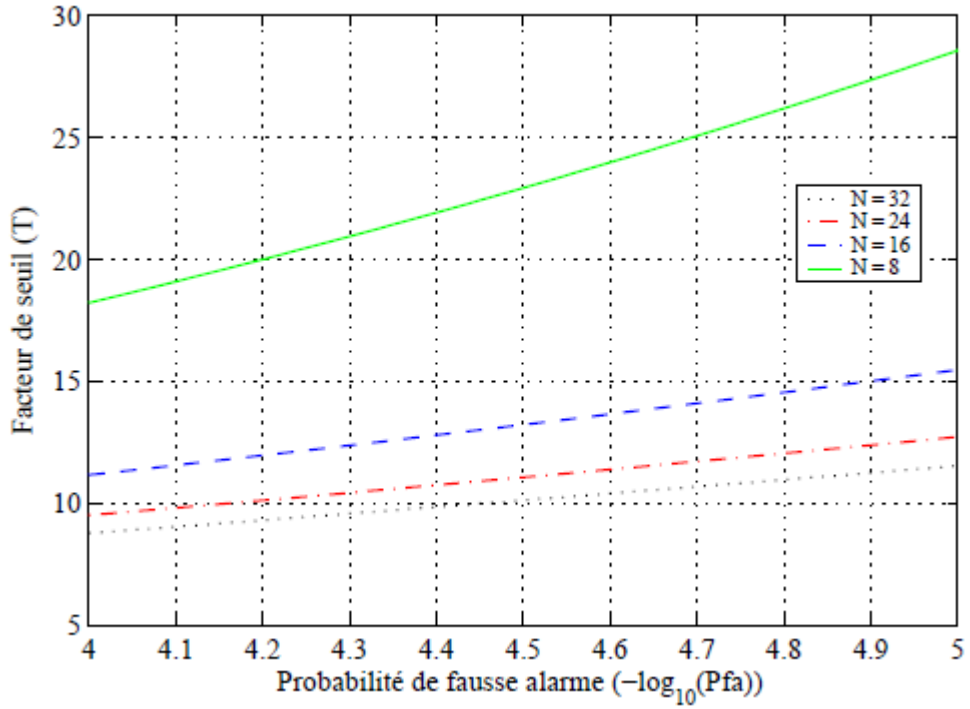


Figure A.3 - Abaque de T pour $P_{fa} = 10^{-4}, 10^{-5}$.

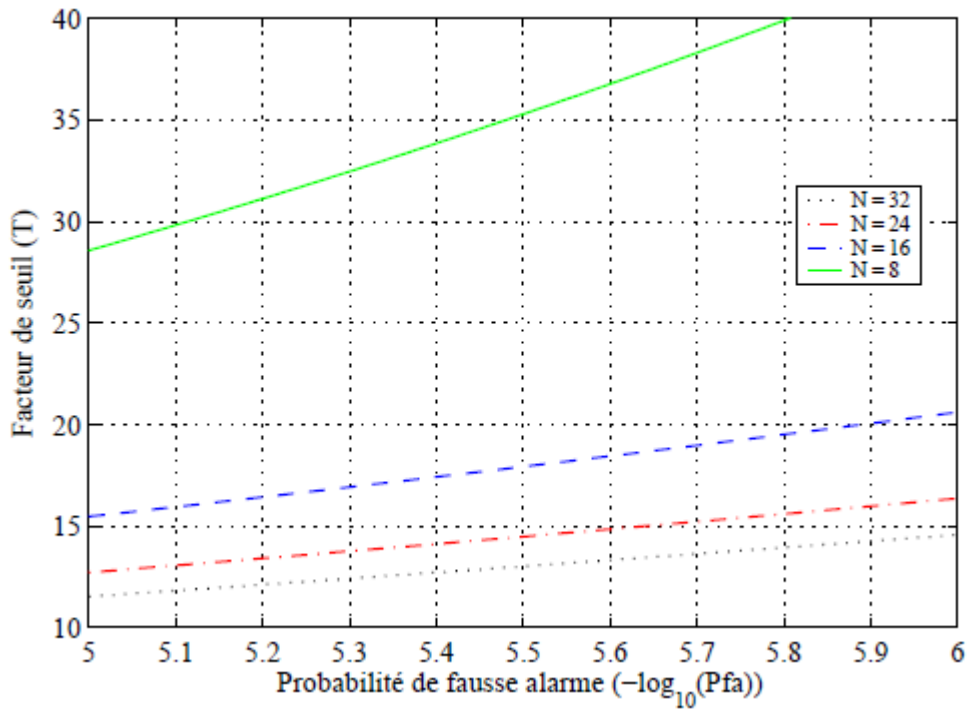


Figure A.4 - Abaque de T pour $P_{fa} = 10^{-5}, 10^{-6}$.

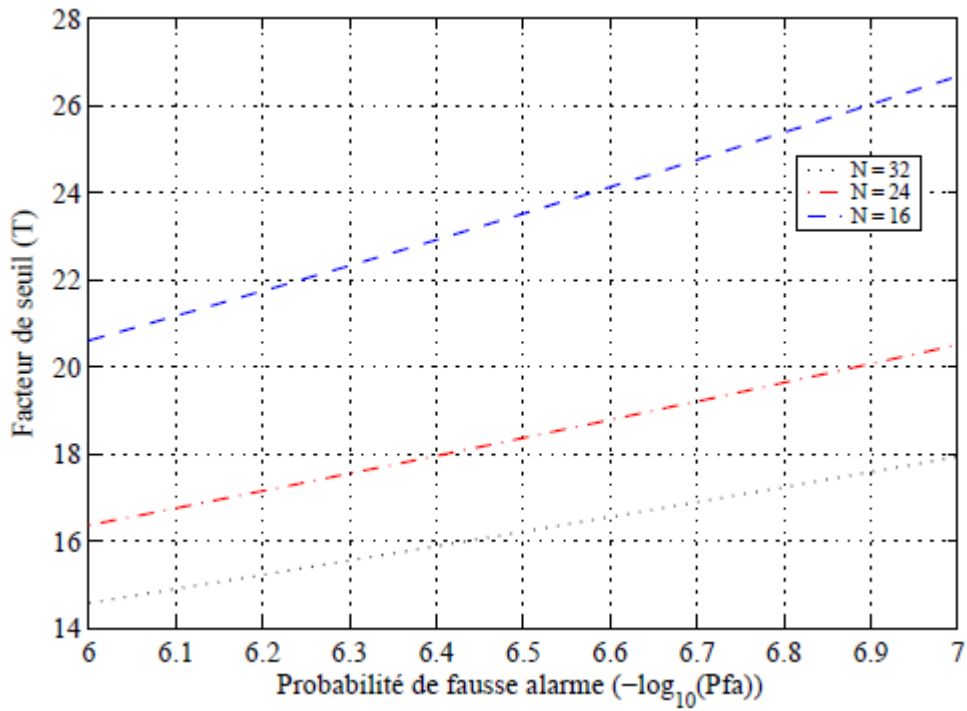


Figure A.5 - Abaque de T pour $P_{fa} = 10^{-6}, 10^{-7}$.

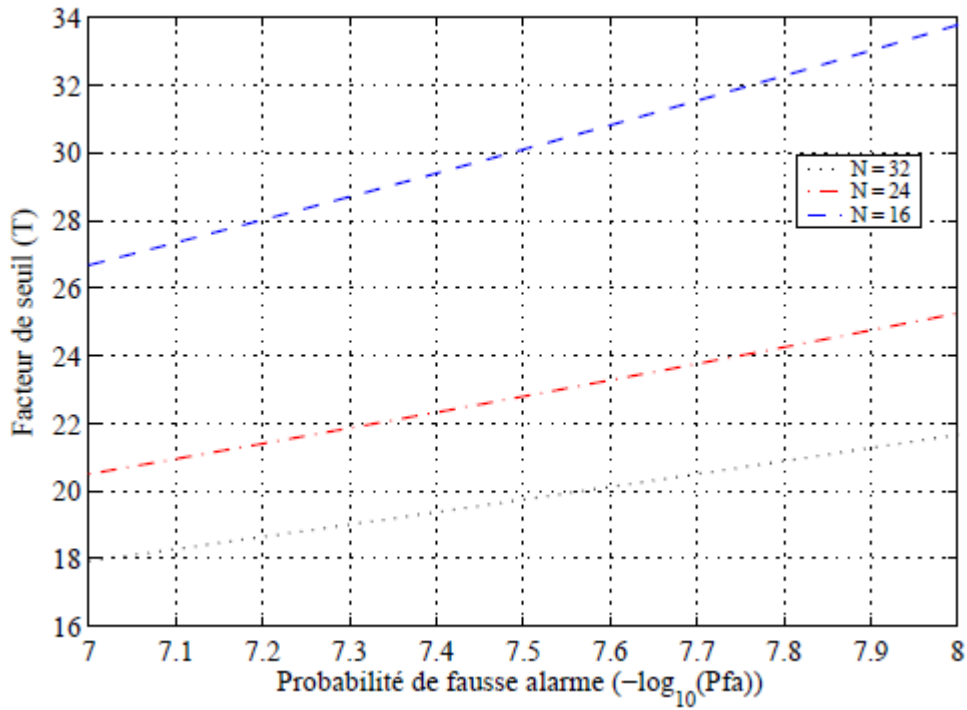


Figure A.6 - Abaque de T pour $P_{fa} = 10^{-7}, 10^{-8}$.

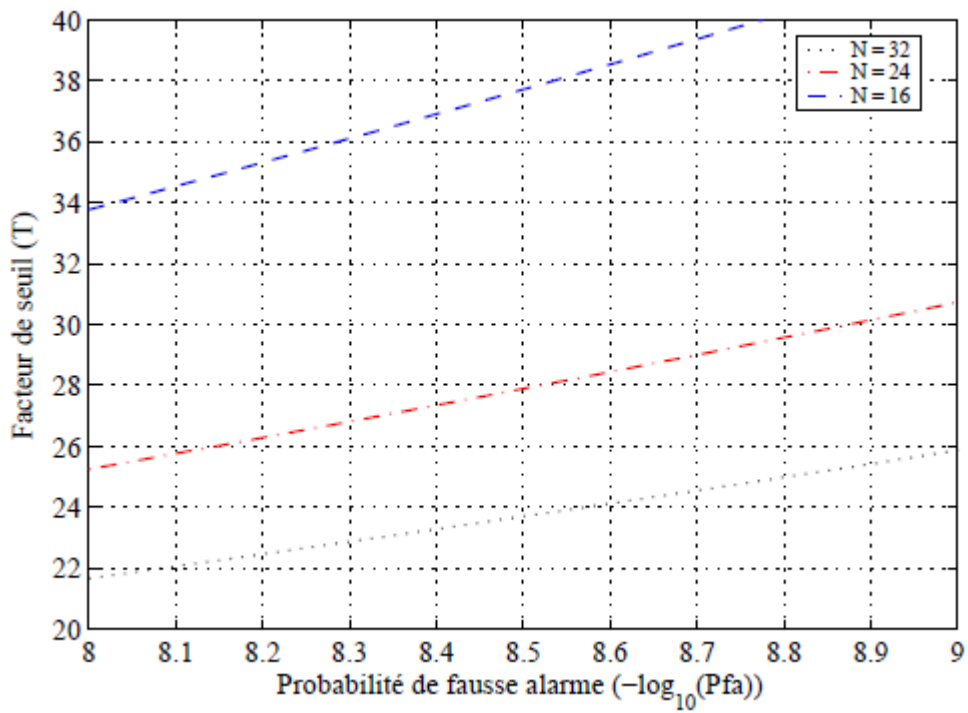


Figure A.7 -Abaque de T pour $P_{fa} = 10^{-8}, 10^{-9}$.

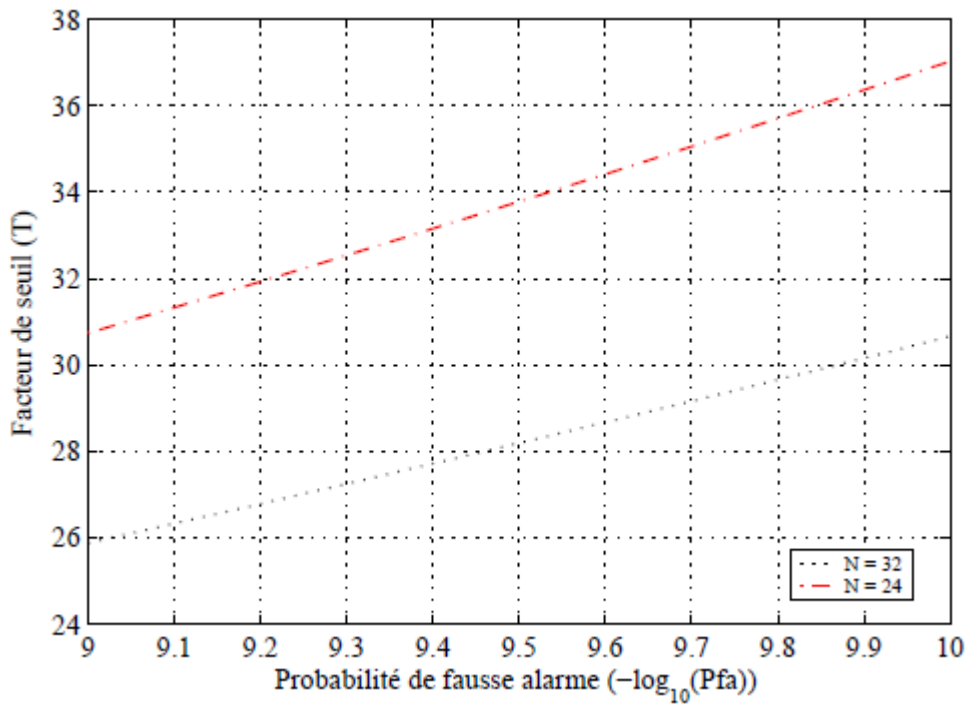


Figure A.8 - Abaque de T pour $P_{fa} = 10^{-9}, 10^{-10}$.

Bibliographie

- [1] COLIN J.-M. *Le radar, théorie et pratique*. Ellipses, Paris, 2002.
- [2] DAT '2000 Techniques et Architectures des Systèmes de Détection, mai 2000.
- [3] BARKAT M. *Signal Detection and Estimation*. Artech House, 2005.
- [4] CARPENTIER M. H. *Radars, bases modernes*. Masson, Paris, 1977.
- [5] DI FRANCO J. V. and. RUBIN W. L. *Radar Detection*. Artech House, 1980.
- [6] FINN H. M. and. JOHNSON R. S. *Adaptive Detection Mode with Threshold Control as a Function of Spatially Sampled Clutter-Level Estimates*. RCA Review, 29:414_464, September 1968.
- [7] EL MASHADE M. B. Performance Analysis of OS Structure of CFAR Detectors In Fluctuating Target Environments *Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 2, 127–158, 2008, Cairo*
- [8] Akharan-Saraf M.R., Mirmohammad Sadeghi.H, *A Robust CFAR detection in non-homogenous environment*, Isfahan, 2004
- [9] *Détection adaptative et censure automatique*, Chapitre 2, pages 14_16, Paris ,2005
- [10] Chang-Joo Kim et Hyuch-Jae Lee. Performance analysis of the clutter map CFAR detector with noncoherent integration, *ETRI journal*, vol 15, No2, 1993.10, Korea
- [11] Hansen V. G. and J. H. Sawyers. *Detectability Loss Due to Greatest of Selection in a Cell-Averaging CFAR*. IEEE Transactions on Aerospace & Electronic Systems, 16:115_118, 1980.
- [12] Weiss M. *Analysis of Some Modified Cell-Averaging CFAR Processors in Multiple-Target Situations*. IEEE Transactions on Aerospace & Electronic Systems, 18(1):102_114, 1982.
- [13] Rohling H. *Radar CFAR Thresholding in Clutter and Multiple Target Situations*. IEEE Transactions on Aerospace & Electronics Systems, 19(4):608_621, July 1983.