



République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la
recherche scientifique



Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technologique
-Skikda-

Département de Technologie

Filière : Génie Electrique

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de
Professeur d'Enseignement Secondaire Technologique

Détection RADAR Multi-impulsions en milieu non Gaussien

Présenté par

Khennouf Hadjer

Mahrache Dalila

Encadrante

Detouche Nedjma

Jury de soutenance

Nom et prénom	Grade	Rôle	Université
Balaska Nawel	M.C.B	Présidente	ENSET-Skikda-
Detouche Nedjma	M.A.A	Encadrante	ENSET-Skikda-
Mokhnache Chafia	M.C.B	Examinatrice	ENSET-Skikda-

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciement

Tout d'abord, nous tenons à remercier Dieu le Tout-Puissant de nous avoir accordé la santé et la volonté d'entreprendre et de mener à bien ce travail.

Nous souhaitons adresser nos chaleureux remerciements à Mme Detouche Nedjma, notre directrice de thèse, pour son encadrement exceptionnel, ses conseils avisés. Ses compétences et son expertise ont été essentielles pour mener à bien ce travail.

Nos sincères remerciements vont également aux membres du jury, Mme Mokhnache Chafia et Mme Balaska Nawel, qui ont accepté d'examiner notre thèse.

Enfin, nous tenons à exprimer notre gratitude envers tous nos professeurs de l'ENSE7 pour leur enseignement et leur accompagnement tout au long de notre parcours académique, ainsi qu'à tous nos collègues et à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce mémoire.

إهداء

" و آخر دعواهم أن الحمد لله رب العالمين "

الحمد لله و الصلاة و السلام على رسول الله..

الحمد لله عند البدء و عند الختام.. الحمد لله ما تم جهد ولا ختم سعي إلا بفضل، و ما تخطى العبد من عقبات إلا بتوفيقه..

إلى سكان قلبي..

إلى رفيقة أيامي و داعمتي الأولى و الأبدية.. إلى قوتي بعد الله " أمي " ..

إلى سبب وجودي.. إلى رمز الأمان " أبي " ..

إلى من قال فيهم " سنشد عضدك بأخيك " .. إلى عزوتي و سندي في الحياة.. إلى من قاسموني حلاوة الأيام و مرها.. إخوتي " حلیم و مختار و توأم روحي سهام " ..

إلى ملائكتي الصغار " تقوى، ميار، أريج، أمير، لولو، و صغيري معين "

إلى أجمل من جادته به الأيام.. إلى سندي بعد إخوتي و أمانتي بعد أبي.. إلى رفيق الدرب " زوجي " ..

إلى من تعلمت معها معنى الصداقة.. إلى صديقة الطفولة " سلمى " ..

إلى صوت الضحكات و أجمل المغامرات.. إلى من قاسموني عناء الطريق.. إلى من شمدوا انهياراتي قبل انتصاراتي.. إلى أخواتي من رحم الأيام " لامية، آية، إكرام، رقية، هاجر، منى، يسرى، إيمان، حياة و ابنة قلبي شيما "

إلى كل من أدركهم قلبي و لم يدركهم قلبي..

هاجر

إهداء

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات.

الحمد لله حمداً كثيراً على توفيقه لي في كل خطوة خطوتها ، وتشبيته لعزيمتي منذ كل إنكسار
ظننته نهاية الطريق.

إلى من لا فرحة تكتمل بدونها ، إلى من تمنيت رؤية نظرة الفخر بعينها يوم تخرجي . إلى من لم
يكتب لها الله أن تكون معي في ختام رحلة كانت داعمي الأول أثناء مسيرها وذاثرتني بالكلمات حتى
النهاية . إلى " أمي " رحمه الله عليها .

إلى " أبي " مصدر قوتي والظفر الذي طالما استندت عليه . إليه هو ، من علمني الصواب وكان
رمز التضحية دائماً حتى وصلت إلى ما أنا عليه اليوم . - حفظه الله - لي من كل أذى .
إلى جدتي ، إلى قطعة من روحي ، إلى من اختذني تحت جناحها منذ نعومة أظفري . لا حرمني الله
منها .

إلى " أنا " في جسد آخر ، إلى عوض الله لي وسندي في الحياة . إلى من جمع الله كل جمال الدنيا فيه .
إلى من عقد القرآن بين قلبي وقلبه . إلى " زوجي " بآرك الله لي فيه .
إلى أختي التي منته الأيام بها على ، توأم روحي ورفيقتي " صديقتي هاجر " .
إلى من هان بوجوده كل عجب ، اللاتي مسنن الدمع من عيني بالضحكات ، إلى خير أنس رزقي
الله بهم " رقية ، إكرام ، هاجر ، آية ، لمياء ، شيما ، حياة " .
إلى من تحادرونا سريعاً وتمنيتك أياً ما أجزى برؤيتهم " يسرى ، منى ، إيمان " . - وفقكم الله - جميعاً
إلى كل ما يحبه ويرضاه .

أخيراً شُكراً إلى كل معلم علمني حرفه وشك يدي على القلم ، كل أستاذ لقنني علماً . من لولا
جهدهم لما وصلت إلى هذا المكان . إلى قذوتي الأستاذة " سارة قرقافه " . بآرك الله جهودكم
أجمعين .

وليلة

Résumé

Le radar est un système qui utilise des ondes électromagnétiques pour détecter et localiser des objets, ainsi que pour déterminer certaines de leurs caractéristiques telles que l'emplacement et la vitesse. Le radar fonctionne en émettant des impulsions qui se reflètent lorsqu'elles entrent en collision avec les objets, puis ces impulsions sont reçues et analysées.

Le processus de détection des objets rencontre des défis tels que l'augmentation du taux de fausses alarmes lors de l'utilisation d'un seuil de détection fixe bas, et le problème de masquage lors de l'utilisation d'un seuil de détection fixe élevé. Pour surmonter ces défis et garantir un taux constant de fausses alarmes indépendamment de la nature du milieu, le système de traitement des signaux radar est équipé de détecteurs CFAR (constant false alarm rate), qui adaptent le seuil de détection en fonction des caractéristiques du milieu environnant.

Dans notre travail, nous avons étudié un de ces détecteurs, le log-t-CFAR, où nous avons comparé les performances de ce détecteur mono-impulsion avec le même détecteur associé à la technique d'intégration binaire de plusieurs impulsions dans un milieu non gaussien de distribution Weibull, dans un milieu homogène et dans un milieu hétérogène (en présence de cibles interférentes), pour différentes valeurs du nombre d'impulsions, et de la variable L de la règle de fusion (L parmi M), et deux types de cibles Swerling I et Swerling II, via des simulations Monte Carlo. Grâce à cette simulation, nous avons pu montrer que le détecteur log-t-CFAR associé à la technique d'intégration binaire donne généralement de meilleures performances que le détecteur mono-impulsion.

Mots-clés : seuil adaptatif, milieu non gaussien, distribution Weibull, cibles interférentes, fausses alarmes, détecteur CFAR.

الملخص

الرادار هو نظام يستخدم الموجات الكهرومغناطيسية لاكتشاف و تتبع الأجسام وكذا تحديد بعض خصائصها كالموقع و السرعة و غيرها. يعمل الرادار على ارسال نبضات تنعكس عند اصطدامها بالأجسام، ثم يتم استقبال هذه النبضات و تحليلها.

تواجه عملية الكشف عن الأجسام تحديات مثل ارتفاع معدلات الإنذارات الخاطئة عند استخدام أنظمة كشف ذات عتبة ثابتة منخفضة، ومشكلة الحجب عند استخدام أنظمة كشف ذات عتبة ثابتة مرتفعة. للتغلب على هذه التحديات وضمان نسبة ثابتة من الإنذارات الخاطئة بغض النظر عن طبيعة الوسط، يتم تزويد نظام معالجة الإشارات الرادارية بكواشف CFAR ، والتي تقوم بتكييف عتبة الكشف بناءً على خصائص الوسط المحيط.

في بحثنا هذا قمنا بدراسة أحد أنواع هذه الكواشف و هو $\log-t$ -CFAR، حيث قمنا بمقارنة أداء هذا الكاشف أحادي النبضة مع نفس الكاشف مزود بتقنية الدمج وفق النظام الثنائي *Intégration binaire* لعدة نبضات في وسط غير غوسي يتبع التوزيع Weibull في وسط متجانس و في وسط غير متجانس (وجود أهداف متداخلة) من أجل قيم مختلفة لعدد النبضات، وللمتغير L لقاعدة الدمج (L من بين M) و نوعين من الأهداف Swerling I و Swerling II. و ذلك باستخدام محاكاة مونت كارلو Monte Carlo . بفضل هذه المحاكاة استطعنا أن نبين أن الكاشف $\log-t$ -CFAR المزود بتقنية الدمج وفق النظام الثنائي يعطي عموماً أداءً أحسن من الكاشف أحادي النبضة.

الكلمات المفتاحية : العتبة، وسط غير غوسي، توزيع Weibull، أهداف متداخلة، الإنذارات الخاطئة، الكواشف CFAR .

Abstract

Radar is a system that uses electromagnetic waves to detect, track objects, and determine some of their characteristics like their position, speed...etc. The radar mainly works by sending pulses that are reflected when they hit objects, and then analyzing them.

The process of detecting objects faces many challenges such as the high rates of false alarms when using low constant threshold, and the problem of masking target when using high constant threshold. To surmount these problems and ensure a fixed rate of false alarms regardless of the nature of the environment, the radar signal processing system is equipped with CFAR detectors, which adapt the detection threshold according to the characteristics of the surrounding environment.

Our research is based on studying one of these detectors which is called log-t-CFAR, where we compared the performance of this single-pulse detector with the same one that was associated to the binary integration system for many pulses in a non-Gaussian environment following the Weibull distribution in both homogeneous and non-homogeneous environments (presence of interfering targets) for different values of pulses' number, and for the rank L of the fusion rule (L out of M) and two types of targets, Swerling I and Swerling II, through Monte Carlo simulations. According to this simulation, we were able to show that the log-t-CFAR detector associated with the binary integration system generally performs better than the single-pulse detector.

Keywords: Adaptive threshold, non-Gaussian environment, Weibull distribution, interfering targets, false alarms, CFAR detector.

Table des matières

Liste des figures.....	I
Liste des tableaux.....	IV
Introduction générale.....	01

Chapitre I : Généralités sur le système RADAR

I.1 Introduction.....	02
I.2 Histoire du Radar.....	02
I.3 Définition d'un système RADAR.....	02
I.4 Les composants du radar.....	02
I.4.1 L'émetteur.....	03
I.4.2 L'antenne.....	03
I.4.3 Le récepteur.....	03
I.4.4 L'étage de traitement.....	03
I.4.5 L'écran d'affichage.....	04
I.5 Le principe de fonctionnement.....	04
I.5.1 Mesures effectuées par le radar.....	04
I.6 L'équation du radar.....	07
I.6.1 La surface équivalente radar.....	08
I.7 Classifications des systèmes radar.....	08
I.7.1 Les types des cibles.....	08
I.7.2 Nombre d'antenne.....	08
I.7.3 L'usage.....	10
I.7.4 Le type d'onde.....	10
I.8 Les fréquences d'ondes électromagnétiques.....	12
I.9 Les domaines d'utilisation du radar.....	12
I.9.1 Militaire.....	12

I.9.2 Météorologique.....	12
I.9.3 Circulation et sécurité routière.....	12
I.9.4 Maritime.....	13
I.9.5 scientifique.....	13
I.10 Conclusion.....	13

Chapitre II : Détection RADAR

II.1 Introduction.....	14
II.2 Les différents types des signaux indésirables.....	14
II.2.1 Bruit thermique.....	14
II.2.2 Clutter (fouillis).....	14
II.3 Les modèles statistiques de clutter.....	15
II.3.1 Distribution Weibull.....	15
II.3.2 Distribution log-normal.....	16
II.3.3 Distribution-K.....	16
II.3.4 Distribution Gumbel.....	16
II.3.5 Distribution Rayleigh.....	16
II.3.6 Distribution Pareto.....	17
II.4 Les modèles statistiques des cibles.....	17
II.4.1 Les modèles fluctuants.....	17
II.4.2 Les cibles furtives.....	19
II.5 La détection.....	19
II.5.1 La théorie de décision.....	19
II.5.2 Les critères de décision.....	20
II.6 Le détecteur CFAR.....	22
II.6.1 Les différents types de détecteurs CFAR.....	23
II.7 Intégration des échos.....	25

II.7.1 Intégration cohérente.....	25
II.7.2 Intégration non-cohérente.....	25
II.8 Conclusion.....	28

Chapitre III : Résultats et Simulations.

III.1 Introduction.....	29
III.2 Calcul des seuils de détection.....	29
III.3 Performance de détection en milieu homogène.....	30
III.3.1 Premier cas $M=4$	30
III.3.2 Deuxième cas $M=8$	31
III.4 Performance de détection en milieu hétérogène.....	32
III.4.1 Premier cas $M=4$	33
III.4.2 Deuxième cas $M=8$	35
III.5 Conclusion.....	37

Liste des figures

Figure	Titre	Page
Chapitre I : Généralité sur le système RADAR		
Figure I.1	Le diagramme fonctionnel d'un radar.....	03
Figure I.2	Principe de fonctionnement d'un system radar.....	04
Figure I.3	Mesure de la distance en ligne droite.....	05
Figure I.4	Mesure de la distance-sol.....	05
Figure I.5	Mesure de la vitesse radiale.....	06
Figure I.6	Détermination de la position.....	07
Figure I.7	Radar mono-statique.....	09
Figure I.8	Radar bi-statique.....	09
Figure I.9	Radar multistatique.....	09
Figure I.10	Radar MIMO.....	10
Figure I.11	Radar à onde continue.....	11
Figure I.12	Radar à impulsions.....	11
Chapitre II : Détection RADAR		
Figure II.1	Modèle de fluctuation Swerling 0.....	17
Figure II.2	Modèle de fluctuation Swerling I.....	18
Figure II.3	Modèle de fluctuation Swerling II.....	18
Figure II.4	Modèle de fluctuation Swerling III.....	18
Figure II.5	Modèle de fluctuation Swerling IV.....	19
Figure II.6	Détection d'une cible.....	19

Figure II.7	Effet de l'augmentation de la puissance du bruit sur la probabilité de fausse alarme.....	22
Figure II.8	Schéma d'un détecteur CFAR.....	23
Figure II.9	Détecteurs CA, GO et SO-CFAR.....	24
Figure II.10	Intégration cohérente.....	25
Figure II.11	Intégration non-cohérente.....	26
Figure II.12	Intégration conventionnelle.....	26
Figure II.13	Intégration non-conventionnelle.....	27
Figure II.14	Intégration binaire.....	27

Chapitre III : Simulations et Résultats

Figure III.1	Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling I avec $M=4$, $N=36$ et $P_{fa} = 10^{-4}$	30
Figure III.2	Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling II avec $M=4$, $N=36$ et $P_{fa} = 10^{-4}$	31
Figure III.3	Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling I avec $M=8$, $N=36$ et $P_{fa} = 10^{-4}$	31
Figure III.4	Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling II avec $M=4$, $N=36$ et $P_{fa} = 10^{-4}$	32
Figure III.5	Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling I avec $M=4$, $L=4$, $N=36$, $P_{fa} = 10^{-4}$ et $n_i = 1$, en milieu hétérogène.....	33
Figure III.6	Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling II avec $M=4$, $L=3$, $N=36$, $P_{fa} = 10^{-4}$ et $n_i = 1$, en milieu hétérogène.....	33

Figure III.7	Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling I avec $M=4$, $L=4$, $N=36$, $P_{fa} = 10^{-4}$ et $n_i = 4$, en milieu hétérogène.....	34
Figure III.8	Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling II avec $M=4$, $L=3$, $N=36$, $P_{fa} = 10^{-4}$ et $n_i = 4$, en milieu hétérogène.....	34
Figure III.9	Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling I avec $M=8$, $L=8$, $N=36$, $P_{fa} = 10^{-4}$ et $n_i = 1$, en milieu hétérogène.....	35
Figure III.10	Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling II avec $M=8$, $L=3$, $N=36$, $P_{fa} = 10^{-4}$ et $n_i = 1$, en milieu hétérogène.....	35
Figure III.11	Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling I avec $M=8$, $L=8$, $N=36$, $P_{fa} = 10^{-4}$ et $n_i = 4$, en milieu hétérogène.....	36
Figure III.12	Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling II avec $M=8$, $L=3$, $N=36$, $P_{fa} = 10^{-4}$ et $n_i = 4$, en milieu hétérogène.....	36

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Chapitre I : Généralité sur le système radar		
Tableau I.1	SER de quelques cibles typiques.....	8
Tableau I.2	Comparaison entre radar à impulsions et radar à onde continue	11
Tableau I.3	Bandes de fréquence radar.....	12
Chapitre II : Détection Radar		
Tableau II.1	Exemple d'environnement gaussien et non gaussien.....	15
Tableau II.2	Les cas de décision.....	21
Chapitre III : Simulations et résultats		
Tableau III.1	Valeurs du paramètre de seuil τ du détecteur log-t-CFAR en fonction de L.	30

Introduction générale

De nos jours, les systèmes radars ont un rôle crucial dans les différents domaines de la vie. Les plus modernes sont à haute résolution et plus sophistiqués pour pouvoir affronter les contraintes de l'environnement tel que brouillage, cibles secondaires, transition de puissance ... etc. Les radars ont une tâche principale qui est la détection et la localisation d'une cible d'intérêt et ils étaient envisagés par la suite pour des tâches de contrôle, surveillance, poursuite ... etc. Cependant, le radar est employé dans les domaines : maritime, militaire, civile, scientifique, météorologique et astronomie.

Quand il s'agit de détecter une cible dans un environnement non stationnaire composé de bruit thermique plus clutter (le bruit thermique est généralement négligé), il est impossible d'utiliser la détection classique avec un seuil fixe en raison de l'augmentation inacceptable de la probabilité de fausse alarme si ce seuil est très bas ou en raison de cibles manquées s'il est très haut. Dans cette optique, il est devenu indispensable d'utiliser des techniques basées sur un seuil adaptatif afin de maintenir un taux de fausse alarme constant, ce qui est le cas des systèmes CFAR (Constant False Alarm Rate). Parmi ces techniques de détection CFAR, nous citons le CA-CFAR (Cell-averaging), le SO-CFAR (Smallest of) et le GO-CFAR (Greatest of). Ces détecteurs ont été principalement conçus pour opérer dans des milieux gaussiens, mais comme les radars à haute résolution collectent des données non gaussiennes (Weibull, log-normal, Pareto ... etc.) d'autres détecteurs ont été proposés pour opérer dans ces milieux tel que le log-t-CFAR.

Dans ce mémoire, nous nous sommes concentrés sur l'utilisation de la technique d'intégration non cohérente binaire de plusieurs impulsions en association avec le log-t-CFAR. L'analyse du processus CFAR est faite sous forme de comparaison entre les systèmes mono-impulsion et multi-impulsions dans les deux environnements, homogène et non homogène.

Notre travail est donc organisé comme suit : Dans un premier temps, nous exposons au **premier chapitre**, des généralités sur les radars, leurs composants ainsi que leur fonctionnement et les différentes mesures et informations que peuvent être obtenu sur une cible. Dans le **deuxième chapitre** nous abordons la théorie de la détection avec quelque critère de décision, les techniques d'intégration cohérente et non cohérente. Dans le **troisième chapitre**, nous analysons les systèmes log-t-CFAR mono et multi-impulsions dans un milieu Weibull. Les résultats obtenus par biais du programme MATLAB et les simulations Monte-Carlo sont interprétés avec différentes courbes pour différentes situations d'environnement suivant la variation du Rapport Signal sur Clutter (Signal to Clutter Ratio, SCR). Enfin une conclusion générale est présentée.

Chapitre I

Généralités sur le système RADAR

I.1. Introduction

Le radar est l'une des merveilles du vingtième siècle. Il fonctionne comme un œil extrêmement puissant capable de voir des objets lointains, même dans l'obscurité ou le brouillard, et de déterminer leur position, leur vitesse et d'autres caractéristiques. Dans ce chapitre, nous détaillerons son fonctionnement, ses composants, ses types et ses domaines d'utilisation.

I.2. Histoire du Radar

L'histoire du radar remonte aux années précédentes et pendant la deuxième guerre mondiale.

En 1864, le physicien écossais James Clerk Maxwell a développé la théorie d'électromagnétisme, qui lui permit de dire que les radiations ont quelques caractéristiques similaires aux ondes lumineuses et il a prédit qu'il est possible de les réfléchir par des matériaux métalliques. En 1886, le physicien allemand Heinrich Rudolf Hertz a mis en évidence cette théorie où il a réussi à générer et détecter les ondes électromagnétiques. Après quelques développements et en 1904, l'allemand Christian Hülsmeier a appliqué les lois de l'électromagnétisme de Maxwell dans le premier système de détection dit « Telemobiloskop », il était le précurseur du système RADAR. Dans la deuxième décennie du 19^{ème} siècle, un article a été publié dans la revue « The Electrical Experimenter » par le physicien autrichien Nikola Tesla montrant comment on peut détecter et localiser un objet (bateau, sous-marin...) à l'aide d'une impulsion électromagnétique. Après, et pendant la même décennie, l'inventeur américain Albert Wallace Hull a développé un oscillateur à haut rendement appelé « Magnétron ». Durant la deuxième guerre mondiale, le physicien écossais Robert Watson-watt a réussi à réaliser le système de détection actuel qui est nommée le « RADAR » par la marine nationale des États-Unis d'Amérique. Les développements se sont succédés dans les technologies radar, toutefois, et jusqu'à nos jours le principe de fonctionnement reste le même pour tous les types de radars [1-2].

I.3. Définition d'un système RADAR

Le terme RADAR est l'abréviation de l'expression anglo-saxonne « **R**adio **D**etection **A**nd **R**anging », d'après ce nom, l'objectif principale d'un système radar est de détecter la présence d'un objet et le télémétrer tout en transmettant des ondes radio (des ondes électromagnétiques). Le radar peut servir aussi pour déterminer la vitesse, l'élévation et d'autres données relatives à la cible [3].

I.4. Les composants du radar

Le diagramme fonctionnel d'un radar est donné à la figure I.1

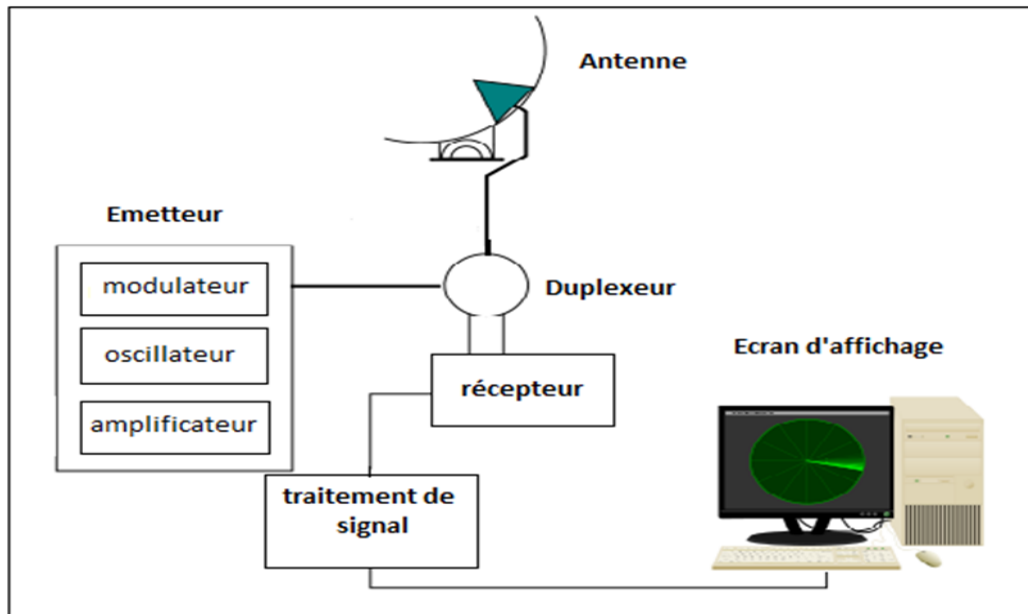


Figure I.1 : le diagramme fonctionnel d'un radar.

I.4.1. L'émetteur

L'émetteur est la partie responsable à émettre les impulsions électriques vers l'antenne. Il contient un oscillateur permanent qui permet de produire des faibles signaux électriques, ainsi qu'un amplificateur qui les amplifie, et un modulateur qui adapte le signal au besoin de l'antenne utilisée [2].

I.4.2. L'antenne

L'antenne, l'élément le plus visible du radar, est l'appareil électronique qui transforme les signaux électriques produits par l'émetteur en signaux électromagnétiques, puis les émet pour être diffusés dans l'espace dans une direction donnée. Elle est aussi utilisée à la réception, où elle également détecte les faibles signaux électromagnétiques venues de l'extérieur et les transforme à des signaux électriques prêts au traitement. La même antenne peut faire les deux opérations en même temps, en utilisant un duplexeur qui permet de séparer le circuit de réception et le circuit d'émission [4-5].

I.4.3. Le récepteur

Le récepteur est le bloc de réception des faibles signaux réfléchis par les objets arrivant à l'antenne. Il contient un amplificateur qui amplifie les signaux électriques et à les rendre puissants, et plusieurs filtres électriques pour séparer les signaux souhaités du bruit ou des signaux indésirables. Ce composant prépare le signal en vue de son traitement ultérieur.

I.4.4. L'étage de traitement

Cet étage peut être intégré avec le récepteur, mais il est usuellement considéré comme un sous-système séparé et spécialement lorsqu'il est implanté d'une façon numérique [6]. Sa fonction

consiste à examiner et analyser le signaux reçus afin de supprimer le bruit et les interférences, ce qui facilite l'extraction précise d'informations nécessaires concernant la cible.

I.4.5. L'écran d'affichage

Il affiche visuellement les objectifs détectés par le radar de manière confortable pour les yeux, et la personne devant l'écran peut déterminer les coordonnées de la cible à partir de la position du radar de manière graphique ou numérique, de manière facile et rapide [4].

I.5. Le principe de fonctionnement

Le radar fonctionne en envoyant des signaux d'ondes électromagnétiques à travers l'air (se déplaçant à la vitesse de la lumière) et en recevant les signaux réfléchis par les objets matériels présents dans son champ d'action. Une fraction de la puissance du signal est réfléchi, dépendant de la taille de l'objet matériel réfléchissant, de la nature de la substance qui le compose et de sa distance par rapport au radar. Les objets conçus pour être détectés par le système radar sont appelés "cibles" [4]. Ces échos peuvent également être réfléchis par des objets indésirables.

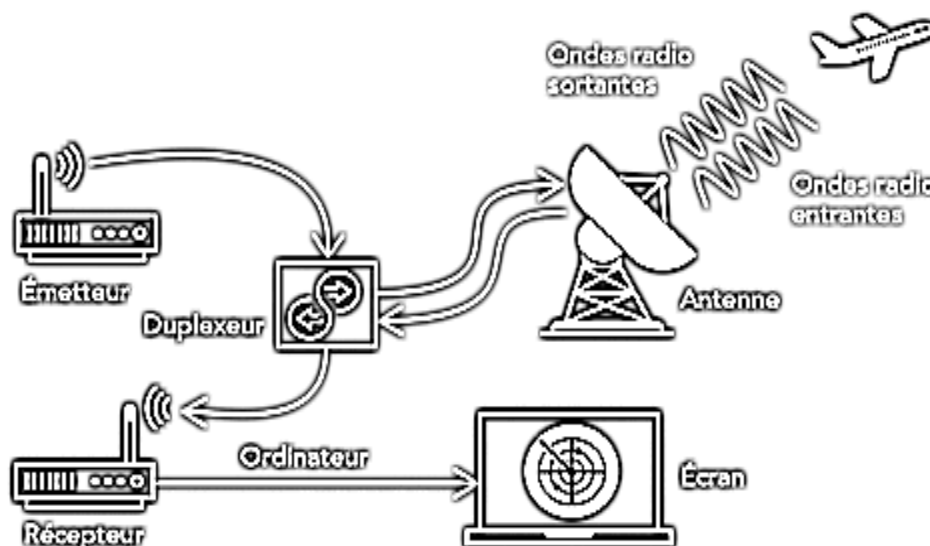


Figure I.2: Principe de fonctionnement d'un système radar.

Cette opération commence lorsque l'émetteur produit des impulsions électriques, les ajuste en fonction du type d'antenne, et les émet vers ce dernier. Ensuite, ces impulsions sont converties en ondes électromagnétiques puis les transporte dans la direction souhaitée. Si les ondes ne rencontrent aucun obstacle, elles disparaîtront dans l'espace. Cependant, en cas où elles rencontrent une cible, une partie de leur puissance est réfléchi. Ici, l'antenne les capte et les transforme en signaux électriques. L'antenne capte également l'énergie réfléchi par le bruit. Ensuite, le récepteur prépare ce signal échoïque pour le traitement, où il extrait des données utiles et les transforme en signal visuel qui apparaît sur l'écran [1].

I.5.1. Mesures effectuées par le radar

L'objectif fondamental du radar consiste à détecter la présence d'objets (cibles) qui ne peuvent pas être observés visuellement et à fournir des mesures supplémentaires concernant ces cibles. Les mesures possibles réalisées par le système radar peuvent être classées de la manière suivante :

I.5.1.1. Mesure de la distance

Le principe utilisé pour calculer la distance en ligne droite entre le centre de l'antenne du radar et la cible est très simple. Comme les ondes électromagnétiques se propagent à la vitesse de la lumière dans l'atmosphère, il suffit de mesurer la latence, c'est-à-dire le temps de transmission aller-retour de l'onde du radar à la cible, ainsi que de la cible vers le radar. Cela peut être formulé mathématiquement comme suit :

$$R = \frac{c \times t}{2} \quad (\text{I.1})$$

- C : vitesse de la lumière $C = 3 \times 10^8$ m/s
- t : latence mesurée [s]
- R : distance en ligne droite [m]

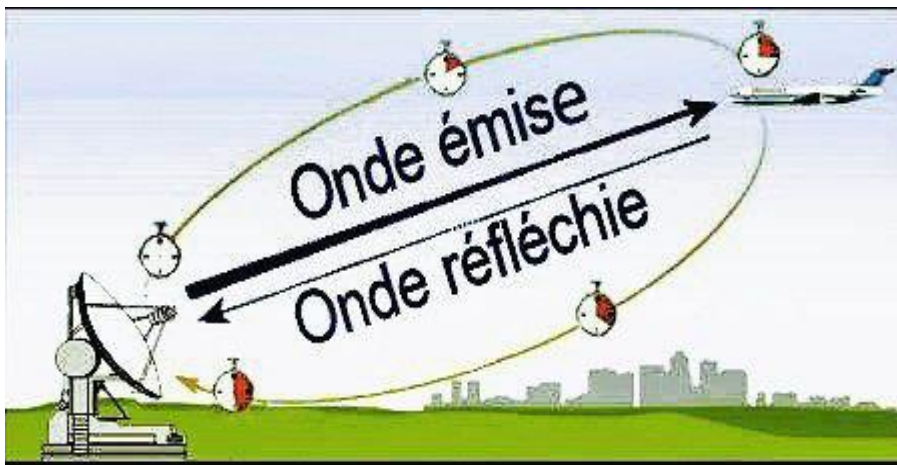


Figure I.3: Mesure de la distance en ligne droite.

La « distance-sol » est la distance horizontale entre l'antenne du radar et la cible : elle ne peut être déterminée que si l'on calcule l'altitude de la cible, ou son angle de site [7].

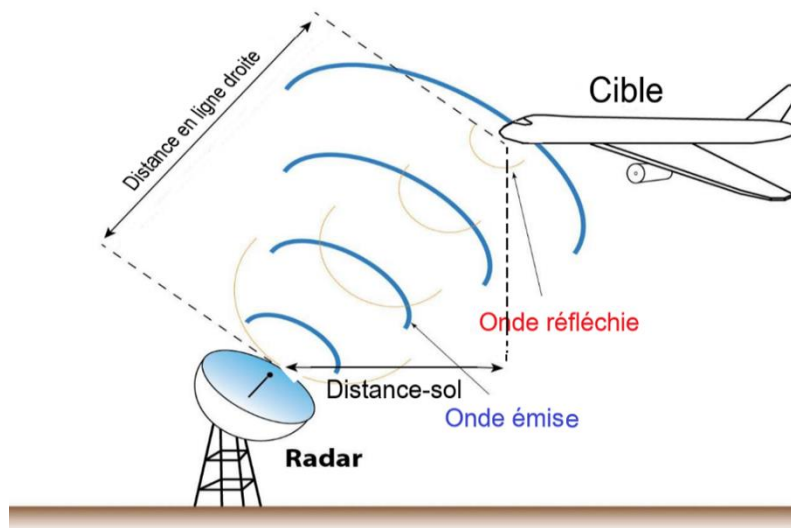


Figure I.4: Mesure de la distance-sol.

I.5.1.2. Mesure de la vitesse

Nous pouvons mesurer la vitesse d'un obstacle à l'aide d'un système radar par deux méthodes :

- Par mesurer la distance entre deux positions différentes et en calculant le changement dans le temps, et après un simple calcul entre le temps et la distance on peut extraire la vitesse comme suit :

$$v = \frac{d}{t} \quad (I.2)$$

- v : la vitesse de l'objet.
 - d : la distance entre deux positions différentes.
 - t : le changement dans le temps entre les deux positions.
- Par l'effet Doppler, un phénomène causé par le mouvement de la cible et apparait comme variation dans la fréquence causée par le mouvement de la cible entre le signal émit et le signal reçu, l'écart de fréquence entre ces derniers est désigné comme la fréquence Doppler f_d , et est lié à la vitesse radiale de la cible par la relation suivante [3] :

$$f_d = \frac{2V_r}{\lambda} \quad ; V_r = V \cos(\theta) \quad ; f_d = f_e - f_r \quad (I.3)$$

- f_d : la fréquence Doppler.
- λ : longueur d'onde ($\lambda = \frac{f_e}{c}$; $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

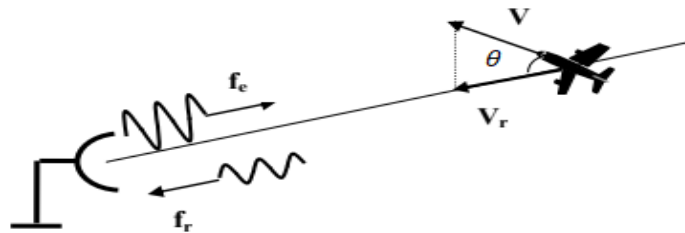


Figure I.5: Mesure de la vitesse radiale

I.5.1.3. Localisation

Pour déterminer la localisation d'un obstacle, le système radar doit mesurer les coordonnées sphériques.

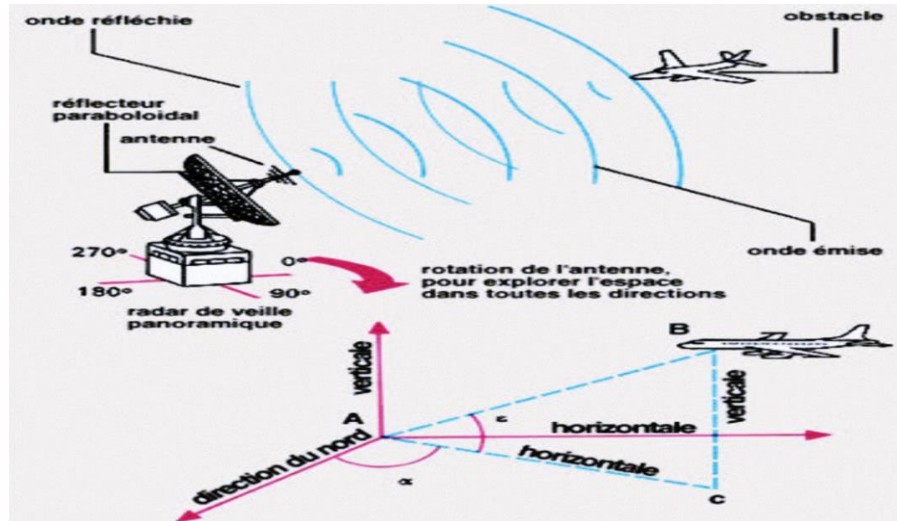


Figure I.6: Détermination de la position.

I.5.1.3.1. La hauteur (l'altitude)

Nous pouvons extraire la hauteur en connaissant l'angle entre cette hauteur et la distance en ligne droite comme cela :

$$h = R \times \sin (\theta) \tag{I.4}$$

- h : la hauteur de la cible.
- R : la distance en ligne droite.
- θ : l'angle de site (entre la distance en ligne droite et la hauteur).

I.5.1.3.2. L'angle de site (θ)

Ou l'angle d'élévation, ce paramètre est mesuré sur le plan vertical et formée par la distance en ligne directe et sa projection [8].

I.5.1.3.3. L'azimut (α)

L'azimut est un angle mesuré sur le plan horizontal, qui se forme par la direction du nord vrai et celle de la ligne directe antenne-cible [8].

I.6. L'équation du radar

Avec L'équation du radar, nous pouvons évaluer la performance de ce système. Il s'agit de réaliser un bilan des puissances sur l'opération d'émission et réception d'une onde. La formule suivante montre comment calculer la puissance reçue :

$$P_R = \frac{P_T G_R G_T \sigma \lambda^2}{D^4 (4\pi)^3} \tag{I.5}$$

- P_R : Puissance reçue [W]
- P_T : Puissance émise [W]

- G_R, G_T : Les gains de l'antenne émettrice et de l'antenne réceptrice.
- σ : La surface équivalente Radar (SER).
- λ : La longueur d'onde [m]
- D : La distance antenne-cible [m]

Cette équation est une équation générale qui dépend de plusieurs facteurs [9].

I.6.1. La surface équivalente radar

La surface équivalente radar [SER] (σ) est le rapport entre la puissance réfléchiée par la cible vers le radar et la densité de puissance par unité de surface à la position de la cible [10].

Tableau I.1: SER de quelques cibles typiques.

Cible	SER en m^2
Moyen-courrier	30 à 100
Chasseur	2 à 10
Missile conventionnel	0.5 à 2
Voiture	10
Vélo	2
Homme	1
Avion furtif	0.025
Oiseau	0.01

I.7. Classifications des systèmes radar

Il existe plusieurs types de radars, classés selon [10] :

I.7.1. Les types des cibles

I.7.1.1. Radar secondaire

Le radar secondaire génère et émet des signaux codés qui sont captés par un transpondeur (porté sur la cible). Ce dernier sert à décoder et traiter le signal reçu et à envoyer de nouvelles informations sous forme d'une onde électromagnétique. En retour le radar reçoit ces ondes puis il les décode et les traite.

I.7.1.2. Radar primaire

Les signaux captés par le radar primaire sont des réflexions des signaux émis.

I.7.2. Nombre d'antenne

I.7.2.1. Radar mono-statique

C'est un type de radar qui utilise une seule antenne pour l'opération d'émission et également dans l'opération de réception.

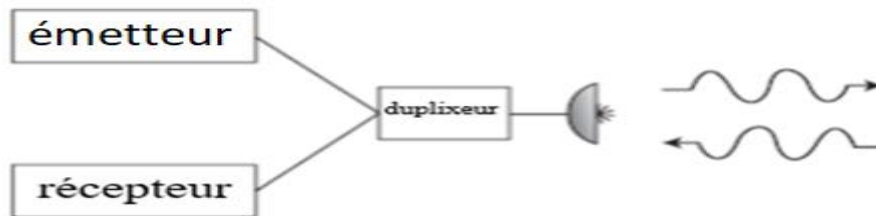


Figure I.7: Radar mono-statique

I.7.2.2. Radar bi-statique

Ce type dédie une antenne pour chacune des opérations, ou l'antenne d'émission est totalement indépendante de l'antenne de réception.

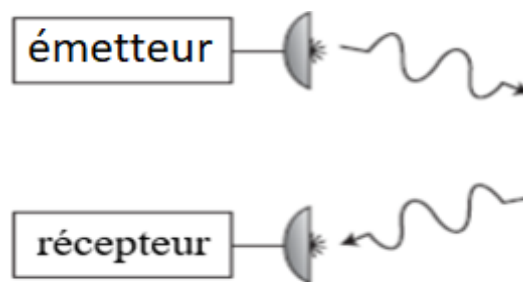


Figure I.8: Radar bi-statique

I.7.2.3. Radar multistatique

Le radar multistatique est une généralisation du radar bi-statique dans lequel il contient une ou plusieurs antennes émettrices et une ou plusieurs antennes réceptrices, éloignées l'une de l'autre à des emplacements distants.

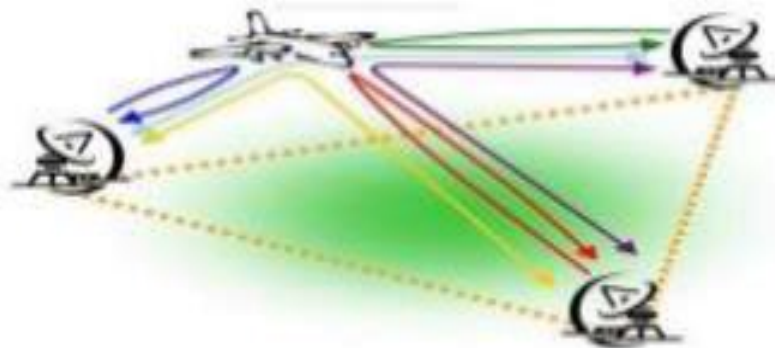


Figure I.9: Radar multistatique

I.7.2.4. Radar MIMO (Multi Input Multi Output)

Le radar MIMO est une généralisation du radar multistatique et la principale différence entre eux réside dans la forme de l'onde émise.

C'est un système constitué de plusieurs antennes, ou chaque antenne d'émission émet une onde spéciale par rapport aux ondes émises par les autres antennes d'émission. D'autre part, chaque antenne de réception peut capter ces signaux, et en raison de la signature d'onde, les signaux d'écho peuvent être réassociés à l'antenne émettrice seulement.

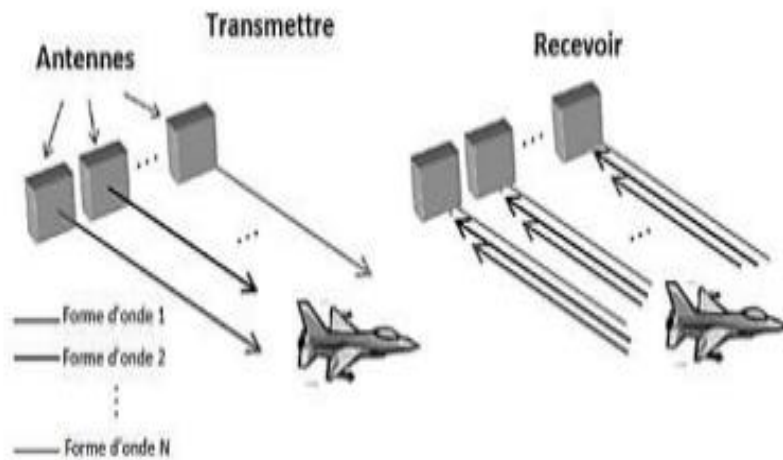


Figure I.10: Radar MIMO

I.7.3. L'usage

I.7.3.1. Radar de surveillance

Utilisé pour la surveillance (balayage) d'une zone précise, il détecte les objets indésirables qui entrent dans son champ de couverture.

I.7.3.2. Radar de poursuite

Selon son nom, nous pouvons comprendre que ce type est utilisé pour suivre les cibles mobiles (des aéronefs, des missiles, des véhicules...) de manière continue et précise

I.7.3.3. Radar multifonction

Il accomplit à la fois les missions de surveillance et de poursuite.

I.7.4. Le type d'onde

I.7.4.1. Radar à onde continue

Un radar à onde continue émet un signal avec une amplitude et une fréquence constante, utilisé notamment pour mesurer des vitesses, comme dans le contrôle de la circulation routière, en exploitant l'effet Doppler.

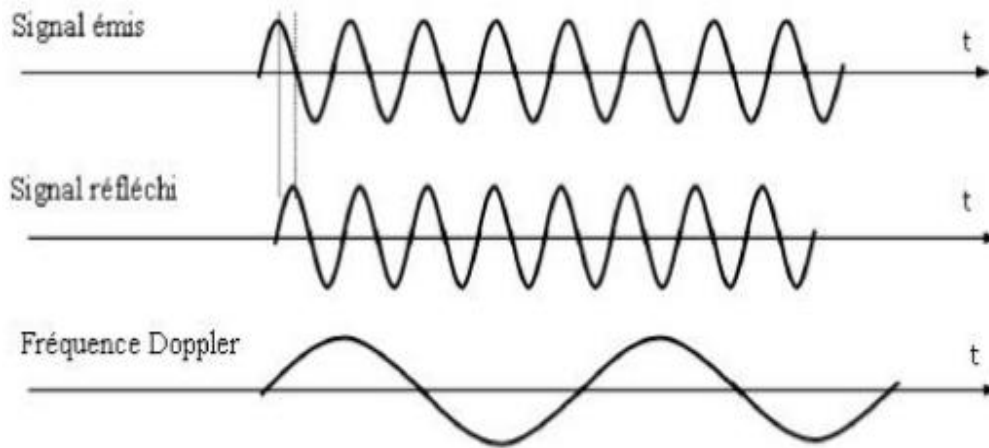


Figure I.11: Radar à onde continue.

I.7.4.2. Radar à impulsions

Il indique l'impulsion puissante et à haute fréquence, suivies d'une période d'écoute (en attendant le retour de l'écho) avant d'émettre une nouvelle impulsion.

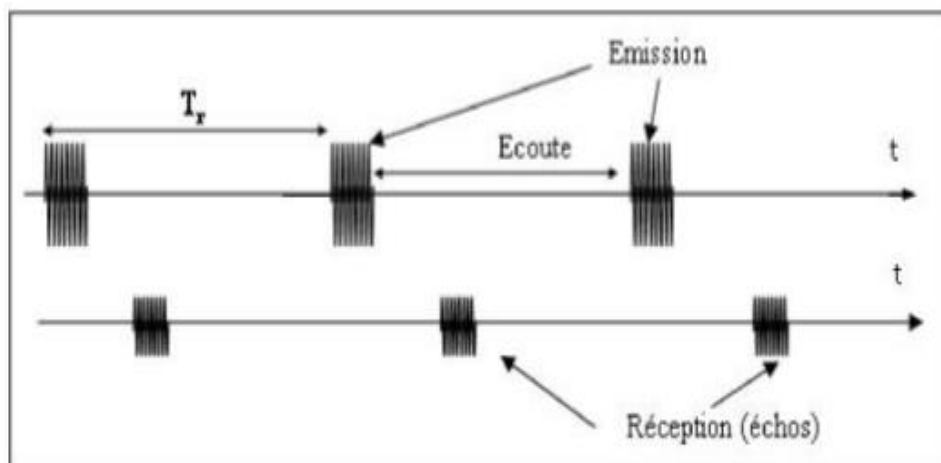


Figure I.12: Radar à impulsions.

- Comparaison entre radar à impulsions et radar à onde continue [11] :

Tableau I.2: Comparaison entre radar à impulsions et radar à onde continue

Paramètres	Radar à impulsions	Radar à onde continue
Type de signal	Modulé	Modulé et non modulé
Antenne	Duplexeur	Antennes séparées
Puissance à réception	Elevée	Faible
Domaine d'application	Plusieurs	Rare

I.8. Les fréquences d'ondes électromagnétiques

Les systèmes radar utilisent une gamme de fréquences d'ondes électromagnétiques adaptées à leur application spécifique. Voici une catégorisation générale de la répartition des fréquences radar [12] :

Tableau I.3: Bandes de fréquence radar.

Bande de fréquence	Plage de fréquence
HF (Hautes fréquences)	3MHz-30MHz
VHF (Très hautes fréquences)	30MHz-300MHz
UHF (Ultra hautes fréquences)	300MHz-1GHz
L	1GHz-2GHz
S	2GHz-4GHz
C	4GHz-8GHz
X	8GHz-12GHz
KU	12GHz-18GHz
K	18GHz-27GHz
KA	27GHz-40GHz
V	40GHz-70GHz
W	70GHz-100GHz

I.9. Les domaines d'utilisation du radar

Le radar est largement utilisé dans plusieurs secteurs, voici les plus fréquemment utilisés [5] :

I.9.1. Militaire

Ils sont utilisés pour la détection et la surveillance aériennes, la surveillance à la surface des navires de guerre, l'identification ami-ennemi et l'autoguidage des missiles.

I.9.2. Météorologique

Dans ce domaine, le radar est utilisé pour détecter et localiser et mesurer l'intensité des précipitations, et pour suivre les mouvements des masses nuageuses.

I.9.3. Circulation et sécurité routière

Ce sont les radars les plus connus, ils sont utilisés pour suivre les véhicules et savoir leur vitesse à l'aide d'effet Doppler.

I.9.4. Maritime

C'est l'un des plus anciennes utilisations des système de détection, ils sont utilisés pour la détection des navires et pour nous informer concernant l'état de la mer et d'autre informations cruciales pour la sécurité et la gestion du trafic maritime.

I.9.5. Domaines scientifiques

Dans les domaines scientifiques nous en trouvons plusieurs utilisations des système radars telle que l'observation atmosphérique, l'étude des calottes glaciaires et la détection des mouvements tectonique.

I.10. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur le radar, en commençant par son historique, en passant par son principe de fonctionnement, où nous avons montré le rôle de chacun de ses composants. Ensuite, nous avons expliqué comment le radar effectue différentes mesures et avons donné son équation, avant de classer le radar suivant plusieurs critères et nous avons terminé par exposer ses domaines d'application.

Chapitre II

Détection RADAR

II.1. Introduction

En raison de la diversité des types de signaux captés par l'antenne radar et des caractéristiques variées des cibles détectées, la détection radar confronte plusieurs défis. Une solution efficace consiste à utiliser des détecteurs CFAR (Constant False Alarm Rate) pour améliorer la précision et la fiabilité de la détection.

II.2. Les différents types des signaux indésirables

De nombreuses sources de signaux indésirables existent et doivent être ignorées par les radars pour se concentrer sur les cibles d'intérêt. Ces signaux peuvent être de sources internes (bruit thermique) ou externes (cibles interférentes et/ou des perturbations, également appelées "clutter"). En règle générale, la puissance du clutter est significativement supérieure à celle du bruit thermique. La capacité d'un radar à surmonter ces interférences est déterminée par son rapport signal sur clutter (SCR). Un SCR plus élevé permet au radar de séparer plus efficacement les cibles des signaux parasites [13]

II.2.1. Bruit thermique

Le bruit thermique, généré intrinsèquement par les composants électroniques à divers degrés, constitue une source interne de variation aléatoire du signal. Cependant, la source la plus importune se manifeste au niveau du récepteur [13].

II.2.2. Clutter (Fouillis)

Les clutter peuvent être classés en deux grandes familles : les clutter de surface et les clutter de volume. Les clutter de surface représentent les échos de la mer et de la terre, tandis que les clutter de volume sont généralement associés aux phénomènes météorologiques. Dans ces deux cas, le rapport du signal sur clutter (SCR : signal to clutter ratio) est très élevé par rapport au rapport signal sur bruit (SNR : signal to noise ratio).

Le clutter peut être homogène ou non homogène. La non-homogénéité est généralement causée par l'effet de bord du fouillis et/ou par la présence de cibles interférentes [3].

II.2.2.1. Bord du fouillis

La transition entre deux milieux différents (par exemple d'un milieu terrestre vers milieu maritime...) dans la détection radar produit un changement brusque dans la puissance du clutter, cette transition est appelée bord de fouillis.

II.2.2.2. Cibles interférentes

Cette situation se produit lorsque plusieurs cibles sont très proches les unes des autres. Les cibles indésirables apparaissent alors comme des pics dans la fenêtre de référence, ce qui entraîne une augmentation de la valeur du seuil. En conséquence, la détection de la cible principale devient médiocre, ce phénomène étant connu sous le nom d'effet de capture. Plus

précisément, si le seuil est trop élevé, certaines cibles principales peuvent ne pas être détectées, tandis que s'il est trop bas, le taux de fausse alarme augmente en raison de la présence de ces pics [3].

II.3. Les modèles statistiques de clutter

La modélisation du clutter varie selon l'application radar utilisée. Pour les radars à basse résolution avec une largeur d'impulsion supérieure à $0.5 \mu\text{s}$ et une détection à des angles d'incidence supérieurs à 5 degrés, le clutter de surface peut être représenté par une distribution Gaussienne de moyenne nulle et de variance constante, également appelée clutter uniforme. Cependant, dans les environnements nécessitant l'utilisation de radars haute résolution avec une largeur d'impulsion inférieure à $0.5 \mu\text{s}$, les données expérimentales montrent une distribution avec une queue plus étalée que celle de la Gaussienne. Par conséquent, pour détecter des cibles dans ce type de clutter, il est essentiel de modéliser l'environnement avec des distributions non-Gaussiennes telles que la Weibull, la log-normale, et la distribution K. Le tableau II.2 de la littérature radar résume quelques cas de clutter non-Gaussien pour aider à la modélisation appropriée [6-14].

Tableau II.1 : Exemple d'environnement gaussien et non gaussien.

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

II.3.1. Distribution Weibull

Est une distribution de probabilité continue, la fonction de densité de probabilité d'une distribution Weibull est donnée par [15] :

$$f(x) = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right], \alpha > 0, \quad \beta > 0, \quad (\text{II. 1})$$

α : Paramètre de la forme.

β : Paramètre d'échelle.

II.3.2. Distribution log-normal

Ce type est caractérisé avec deux paramètres [16] :

Paramètres d'échelle μ et paramètre de la forme σ . La fonction de densité de probabilité pour la distribution log-normal est donnée par :

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{\frac{-(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\}, x \geq 0 \quad (\text{II. 2})$$

II.3.3. Distribution-K

La distribution-K est décrite par la fonction de densité de probabilité suivante [17] :

$$f(x) = \frac{2b}{\Gamma(v)} \left(\frac{bx}{2}\right)^v K_{v-1}(bx) U(x) \quad , v \geq 0 \quad (\text{II. 3})$$

$\Gamma(\cdot)$: est la fonction Gamma.

$K_v(\cdot)$: La fonction de Bessel modifiée.

b : Paramètre d'échelle.

v : Paramètre de forme.

II.3.4. Distribution Gumbel

La fonction de densité de probabilité de la distribution Gumbel est donnée par [18] :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \exp\left(-\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right) \quad , \quad -\infty < \mu < +\infty \quad , \sigma > 0 \quad (\text{II. 4})$$

μ : Le paramètre de position.

σ : Le paramètre d'échelle.

II.3.5. Distribution Rayleigh

La distribution Rayleigh, de paramètre σ , est caractérisée par la densité de probabilité suivante [19] :

$$f(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left[\frac{-x^2}{2\sigma^2}\right] \quad (\text{II. 5})$$

II.3.6. Distribution Pareto

La distribution Pareto est exprimée par [1] :

$$f(x) = \frac{\alpha\beta^2}{x^{\alpha+1}}, \quad x > 0 \quad (\text{II. 6})$$

β : un facteur d'échelle.

II.4. Modèles statistiques des cibles

Une cible agit comme une antenne complexe, absorbant une partie de l'énergie environnante et réfléchissant le reste dans toutes les directions. Elle doit être au-dessus de l'horizon radar pour renvoyer un écho suffisamment fort. La puissance de l'écho dépend de la largeur et de la hauteur de la cible, mais d'autres facteurs entrent en jeu. Par exemple, une petite cible très réfléchissante peut renvoyer un écho plus fort qu'une cible plus grande mais moins réfléchissante. En théorie de la décision statistique, une cible peut être caractérisée par un signal d'écho dont l'amplitude ou le SER (taux d'erreur symbolique) est inconnu et non fluctuant, aléatoire et suivant une loi Rayleigh ou une autre distribution aléatoire [13-20].

II.4.1. Les modèles de fluctuations

Les modèles de Swerling sont les modèles les plus utilisés pour représenter les fluctuations des cibles. Swerling a observé et classifié les cibles selon les fluctuations en cinq modèles statistiques appelés Swerling 0 ou V (modèle non-fluctuant), Swerling I, II, III et IV (modèles fluctuants) [6].

II.4.1.1. Swerling 0 : Considère que la SER de la cible ne fluctue pas (modèle théorique) et que par conséquent l'amplitude du signal réfléchi par la cible est inconnue et non-fluctuante.

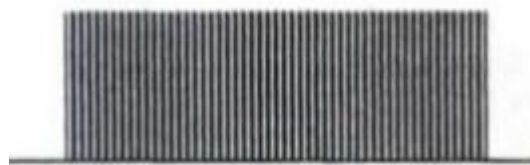


Figure II.1 : Modèle de fluctuation Swerling 0.

II.4.1.2. Swerling I : Dans ce modèle, la puissance du signal renvoyé par impulsion reste constante à chaque balayage, mais ces échos d'impulsions sont indépendants d'un balayage à l'autre. Le signal renvoyé est donc une variable aléatoire indépendante, de distribution Rayleigh donnée par :

$$p(\sigma) = \frac{1}{\bar{\sigma}} \exp\left(-\frac{\sigma}{\bar{\sigma}}\right) ; \quad \sigma \geq 0 \quad (\text{II. 7})$$

Tel que : σ : représente la surface équivalente de la cible (SER).

$\bar{\sigma}$: représente la valeur moyenne de SER.

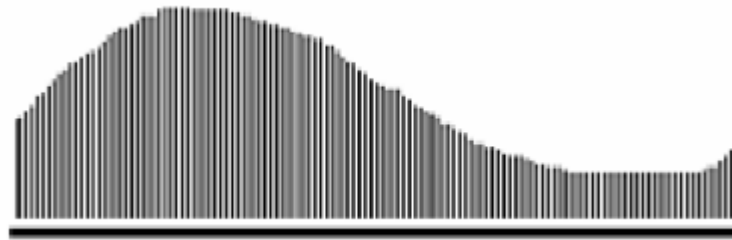


Figure II.2 : Modèle de fluctuation Swerling I.

II.4.1.3. Swerling II : Ici, les fluctuations sont plus rapides que dans le cas 1, et sont supposées être indépendantes d'une impulsion à une autre, où la fonction de densité de probabilité suit la même loi de l'équation (II.7).

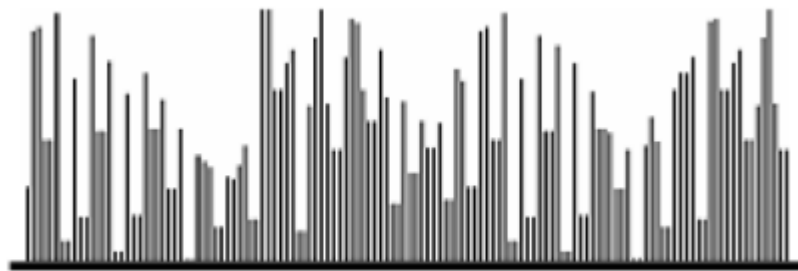


Figure II.3 : Modèle de fluctuation Swerling II.

II.4.1.4. Swerling III : Les fluctuations sont indépendantes d'un scan à un scan comme pour le premier cas, mais la fonction de densité de probabilité est donnée par :

$$p(\sigma) = \frac{4\sigma}{\bar{\sigma}^2} \exp\left(-\frac{2\sigma}{\bar{\sigma}}\right) \quad (\text{II.8})$$



Figure II.4 : Modèle de fluctuation Swerling III.

II.4.1.5. Swerling IV : comme pour le second cas, les fluctuations ici sont (pulse to pulse) et les cibles possèdent des fluctuations rapides avec des amplitudes indépendantes d'une impulsion à une autre. La fonction densité de probabilité pour la cible suit la même loi que celle donnée par l'équation (II.8).

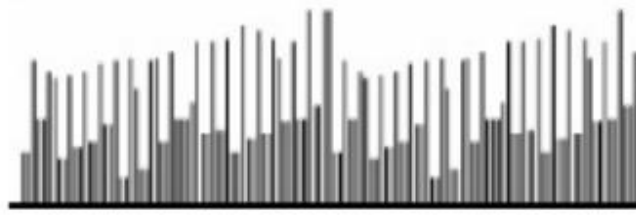


Figure II.5 : Modèle de fluctuation Swerling IV.

II.4.2. Les cibles furtives

Les cibles furtives, comme les avions furtifs ou les navires furtifs, ne doivent pas être confondues avec l'invisibilité. Il est actuellement impossible de faire disparaître une cible de l'écran radar adverse. Elles sont conçues pour minimiser leur détection par les systèmes radar ennemis en utilisant des techniques basées sur la réduction de leur SER. Cela implique des modifications au niveau de la surface de la cible, réduisant ainsi la puissance réfléchiée ou dispersant le signal dans toutes les directions, notamment grâce à la forme aérodynamique et l'utilisation de matériaux absorbants [6].

II.5. La détection

II.5.1. Théorie de décision

La détection consiste à décider si une cible est présente ou absente en comparant le signal reçu à un seuil spécifique, lequel dépend du niveau de fausse alarme acceptable.

- Si le signal utile dépasse le seuil, la cible est détectée.
- Si le bruit dépasse le seuil en absence du signal écho, on dit que c'est une fausse alarme.
- Si le seuil est trop élevé, les cibles peuvent ne pas être détectées.
- Si le seuil est trop bas la probabilité de fausse alarme P_{fa} augmente.

Nous pouvons présenter cela dans la figure ci-dessous [21] :

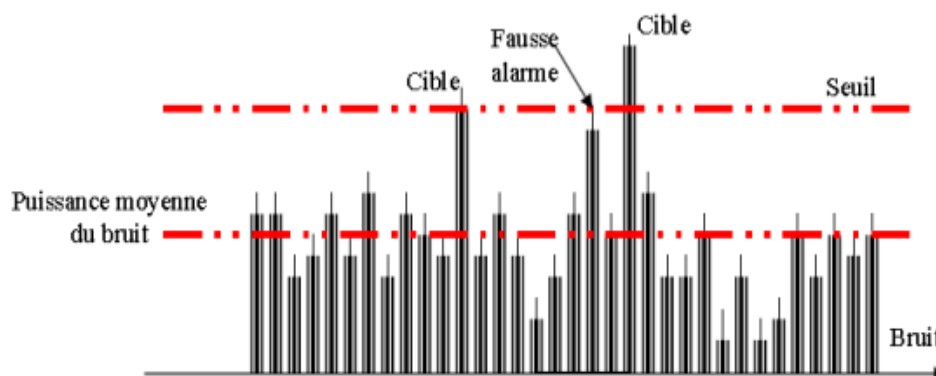


Figure II.6 : Détection d'une cible.

II.5.2. Les critères de décision

Dans le processus de détection par radar, l'étape de traitement prend une décision concernant la présence ou l'absence de la cible selon la théorie de décision, où la décision est basée sur les deux hypothèses suivantes [22] :

- L'hypothèse nulle H_0 : lorsque l'écho ne dépasse pas le seuil, nous considérons que le signal reçu est seulement du bruit et du fouillis, ce qui signifie que la cible n'est pas présente.
- L'hypothèse alternative (non nulle) H_1 : lorsque l'écho dépasse le seuil, nous considérons qu'en plus du bruit et du fouillis, le signal reçu contient également un écho de la cible, ce qui signifie que la cible est présente.

Les ratios décisionnels dans ce processus sont représentés par les proportions suivantes [23] :

- La probabilité de fausse alarme P_{fa} : Dans le cas où l'écho dépasse le seuil sans signal provenant de la cible, ce qui signifie que l'écho est seulement du bruit, nous appelons cela une fausse alarme.

$$P_{fa} = P\left(\frac{D = D_1}{H = H_0}\right) \quad (\text{II. 9})$$

$$P_{fa} = P\left(\frac{D_1}{H_0}\right) \quad (\text{II. 10})$$

- La probabilité de non-détection (probability of miss) P_m : Dans le cas où l'écho ne dépasse pas le seuil, bien qu'il contienne un écho de la cible, ce qui signifie que la cible est présente mais n'a pas été découverte.

$$P_m = P\left(\frac{D = D_0}{H = H_1}\right) \quad (\text{II. 11})$$

$$P_m = P\left(\frac{D_0}{H_1}\right) \quad (\text{II. 12})$$

- La probabilité de détection P_d : Lorsque l'écho dépasse le seuil et la décision prise est que la cible présente et elle est effectivement présente.

$$P_d = P\left(\frac{D = D_1}{H = H_1}\right) \quad (\text{II. 13})$$

$$P_d = P\left(\frac{D_1}{H_1}\right) \quad (\text{II. 14})$$

Nous pouvons résumer ces cas de décision selon le tableau suivant :

Tableau II.2 : les cas de décision

L'hypothèse vrais La décision	H₀ (La cible est absente)	H₁ (La cible est présente)
D₀	La décision est correcte $1 - P_{fa}$	La décision est incorrecte $1 - P_d$
D₁	La décision est incorrecte P_{fa}	La décision est correcte P_d

Nous présenterons plusieurs critères de décision utilisés dans la théorie de la décision, ainsi que les conditions dans lesquelles ils sont pertinents. [24] :

II.5.2.1. Critère de Bayes

L'utilisation du critère de Bayes nécessite principalement deux hypothèses [25] :

- Premièrement, la connaissance au préalable des probabilités d'événement des deux sorties de la source qui sont appelées les probabilités a priori

$$P(H_0) = P_0 \quad \text{et} \quad P(H_1) = P_1$$

- La deuxième hypothèse consiste à attribuer un coût à chaque décision possible. Chaque décision est associée au symbole D_i ($i = 0,1$) et que chaque décision correspond successivement aux hypothèses H_0, H_1 , alors que nous associons le symbole C_{ij} ($i, j = 0,1$) au coût associé à la décision D_i .

Effectivement, il existe quatre cas possibles dans le processus de prise de décision :

- D_{00} : La décision est prise que la cible est absente et elle est absente effectivement. (Associé au coût : C_{00})
- D_{01} : La décision est prise que la cible est absente mais elle est présente. (Associé au coût: C_{01})
- D_{10} : La décision est prise que la cible est présente mais elle est absente. (Associé au coût : C_{10})
- D_{11} : La décision est prise que la cible est présente et elle est présente véritablement. (Associé au coût : C_{11})

Les décisions D_{00} et D_{11} sont les décisions vraies, et D_{01} et D_{10} sont les décisions fausses.

Les tests de Bayes consistent à déterminer les régions de décision de façon à minimiser la valeur moyenne du coût $E(C)$ qui est appelé aussi R (risque).

La fonction de Bayes est donnée par :

$$\Lambda(Q) = \frac{P_{Q/H_1}(q/H_1)}{P_{Q/H_0}(q/H_0)} \underset{H_0}{\overset{H_1}{>}} \frac{P_0(C_{10} - C_{00})}{P_1(C_{01} - C_{11})} = T \quad (\text{II. 14})$$

Tel que : $-\Lambda(Q)$: représente le rapport de la probabilité.

- $P_{Q/H_i}(q/H_i)$, ($i = 0,1$) : représente la densité de la probabilité de chaque hypothèse.

II.5.2.2. Critère de Neyman-Pearson

Ce critère exige que le taux de détection P_d soit maximisé tout en fixant le taux de fausses alarmes P_{fa} à une valeur spécifique α . La règle de décision dans la norme Neyman-Pearson est donnée comme suit [2] :

$$\Lambda(Q) = \frac{P_{Q/H_1}(q/H_1)}{P_{Q/H_0}(q/H_0)} \underset{H_0}{\overset{H_1}{>}} \hat{\lambda} \quad (\text{II. 15})$$

Tel que : $\hat{\lambda}$ représente le facteur de Lagrange qui correspond à la valeur du seuil de détection à $P_{fa} = \alpha$.

II.6. Le détecteur CFAR

La sensibilité de la probabilité de fausse alarme est fortement influencée par les variations de la puissance du bruit, ce qui rend l'utilisation d'un seuil fixe pour la détection classique inapplicable. Une légère augmentation de la puissance du bruit de l'ordre de 3 dB peut entraîner une augmentation de la probabilité de fausse alarme d'un facteur d'environ 10^{-4} , comme illustré dans le graphique ci-dessous [26] :

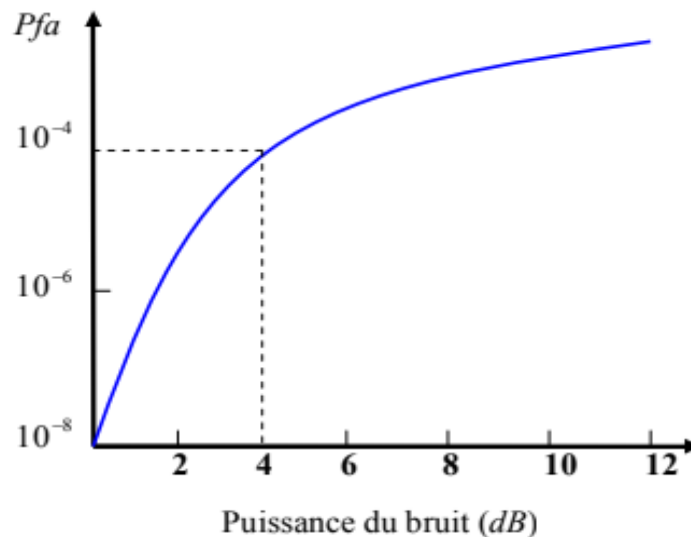


Figure II.7 : Effet de l'augmentation de la puissance du bruit sur la probabilité de fausse alarme.

Le CFAR (Constant False Alarm Rate) est un algorithme de traitement de signal numérique ou un processus utilisé dans la partie traitement du signal du récepteur radar. Après réception et démodulation des échos radar, ceux-ci traversent une série de cellules en nombre impair. [26].

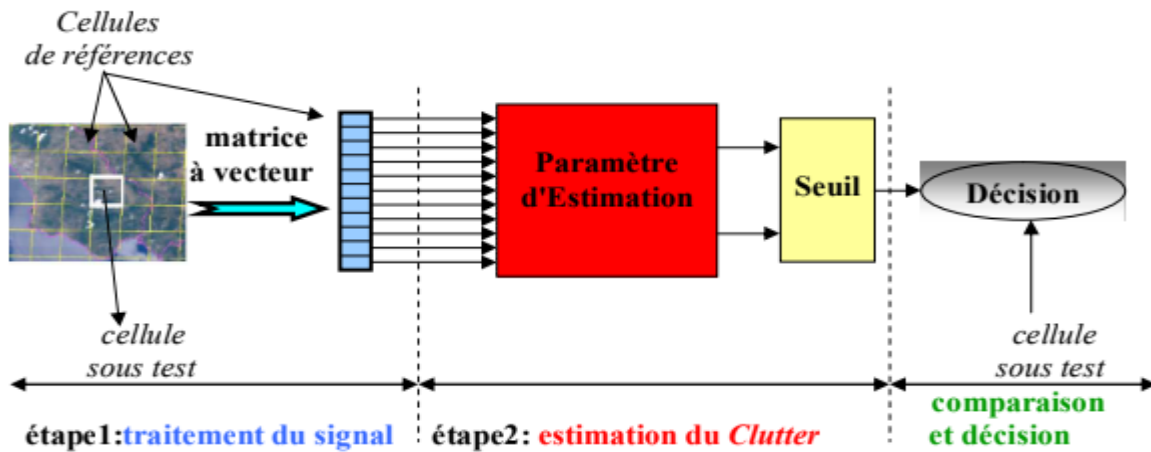


Figure II.8 : Schéma d'un détecteur CFAR.

La "cellule sous test" CUT (cellul under test) est la cellule centrale, elle comporte le signal à détecter. Deux fenêtres regroupant des cellules dites "de références" qui serviront à estimer la puissance du clutter, sont placées de part et d'autre de la cellule de test, celle à droite est désignée par la lettre U ; et l'autre à gauche par la lettre V. Pour des raisons de sécurité, les "cellules de garde" sont des cellules voisines à la cellule sous test, utilisées pour éviter tout débordement du signal mais qui ne sont pas incluses dans la procédure d'estimation.

II.6.1. Les différents types de détecteurs CFAR

Il existe plusieurs procédés de détection CFAR, dont la différence réside dans la méthode retenue pour effectuer l'estimation de la puissance du clutter selon le type d'environnement. Nous pouvons citer les modèles suivants [27] :

- Cell Averaging CFAR (CA-CFAR).
- Smallest Of CFAR (SO-CFAR).
- Greatest Of CFAR (GO-CFAR).
- Order Statistic CFAR (OS-CFAR).
- Log-t-CFAR.
- WH-CFAR.

II.6.1.1. Le détecteur CA-CFAR

Le détecteur CA-CFAR (Cell Averaging) a été initialement présenté en 1968 par Finn et Johnson. Son fonctionnement implique la prise de la moyenne des N échantillons continus dans les cellules de référence, puis le calcul du seuil en fonction de la puissance du signal continu dans ces cellules [1].

II.6.1.2. Le détecteur SO-CFAR

Trunk a proposé le détecteur SO-CFAR (Smallest of). Celui-ci utilise le minimum des moyennes des sorties des deux fenêtres [28].

II.6.1.3. Le détecteur GO-CFAR

Hansen et Sawyers ont introduit le détecteur GO-CFAR (Greatest of). Celui-ci utilise le maximum des moyennes des sorties des deux fenêtres [1-29].

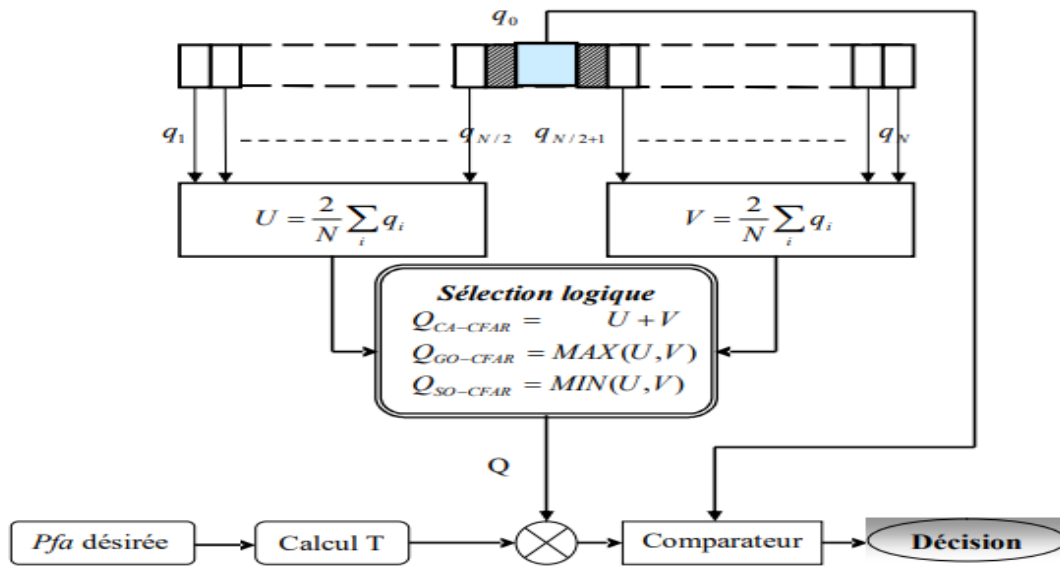


Figure II.9 : Détecteurs CA, GO et SO-CFAR.

II.6.1.4. Le détecteur OS-CFAR

Rohling a introduit le détecteur OS-CFAR (Order Statistics), où les échantillons des cellules de référence sont triés de manière croissante et la puissance du bruit est déterminée par le K-ème échantillon. Ce rang est sélectionné de manière à optimiser la probabilité de détection [28].

II.6.1.5. Le détecteur Log-t-CFAR

Goldstein a élaboré un détecteur CFAR nommé log-t-CFAR. Le seuil adaptatif de ce détecteur log-t-CFAR est déterminé par :

$$\frac{\log X_0 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log X_i}{\sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(\log X_i - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \log X_j \right)^2}} \underset{H_0}{\overset{H_1}{>}} \tau. \tag{II. 16}$$

Où \$X_0\$ est la cellule sous test, \$X_1\$ et, ..., \$X_N\$ sont les cellules de référence [30].

II.6.1.6. Le détecteur WH-CFAR

Weber et Haykin ont développé une méthode de traitement CFAR connue sous le nom de WH-CFAR. Le seuil adaptatif de ce détecteur WH-CFAR est défini par :

$$X_0 \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} \begin{matrix} H_1 \\ H_0 \end{matrix} \quad (\text{II. 17})$$

$$T_\gamma = X_{(1)}^\gamma X_{(N)}^{1-\gamma} \quad (\text{II. 18})$$

Où γ est le paramètre de seuil, $X_{(1)}$ est la plus petite cellule de référence, et $X_{(N)}$ est la plus grande cellule de référence [31].

II.7. Intégration des échos

Pendant la période où la cible est éclairée par le faisceau, n échos sont détectés :

$$n = \frac{\theta^\circ \cdot f_r (\text{Hz})}{6\omega_a \left(\frac{\text{tr}}{\text{min}}\right)} \quad (\text{II. 19})$$

En général, ces échos sont traités collectivement. Le regroupement de n échos est communément désigné par le terme "intégration". Cette intégration peut être effectuée de diverses manières [10].

II.7.1. Intégration cohérente

L'intégration se produit avant le détecteur d'enveloppe. Ce type d'intégration préserve les relations de phase entre les impulsions et exige une connaissance de la fréquence Doppler. Lorsque n impulsions sont parfaitement intégrées par le détecteur cohérent, le rapport signal/bruit est précisément multiplié par n [10].

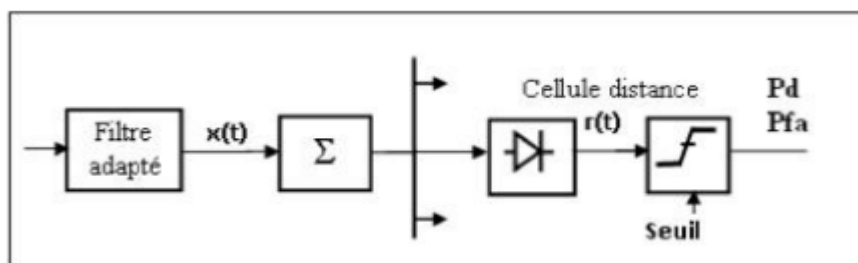


Figure II.10 : Intégration cohérente.

II.7.2. Intégration non-cohérente

L'intégration est réalisée postérieurement au détecteur d'enveloppe. Cette méthode d'intégration entraîne la suppression des relations de phase entre les impulsions. Bien qu'elle

soit simple à mettre en œuvre, son efficacité est limitée : elle induit des pertes de détection qui réduisent le rapport signal/bruit [10].

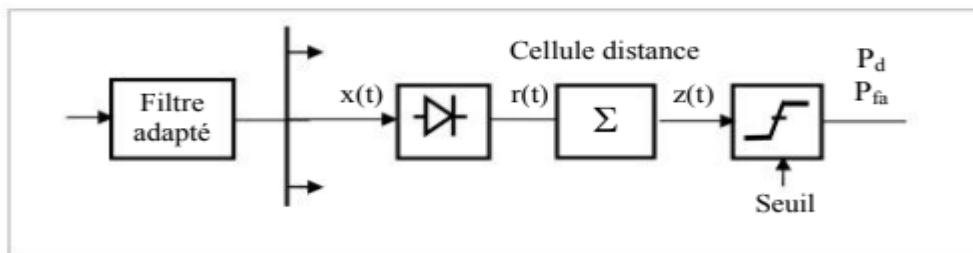


Figure II.11 : Intégration non-cohérente.

II.7.2.1. Intégration conventionnelle

L'approche conventionnelle accumule de manière non cohérente de nombreuses impulsions se terminant par une fenêtre de référence unique à partir de laquelle un seuil est établi et comparé à la cellule sous test (CUT) pour décider de la présence ou l'absence d'une cible [32], comme le montre la figure suivante :

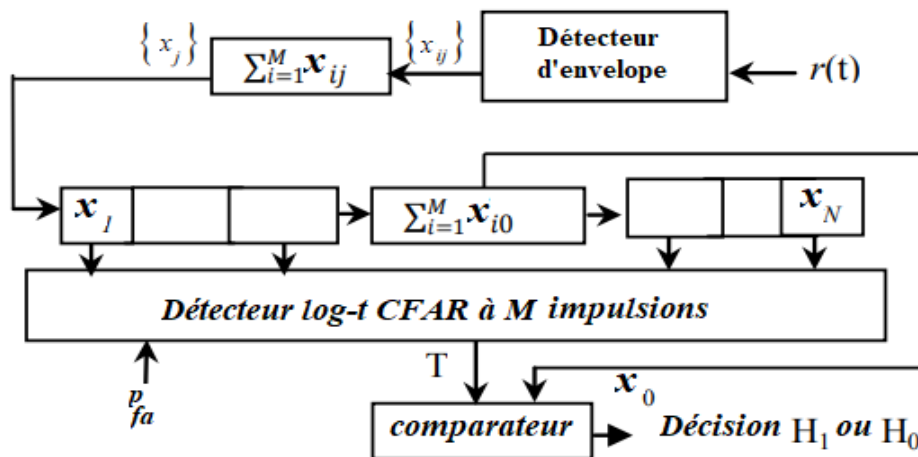


Figure II.12 : Intégration conventionnelle.

II.7.2.2. Intégration non-conventionnelle

Dans l'approche non conventionnelle, comme le montre la Figure II.13, les échantillons de référence des retours d'impulsions individuelles sont traités par le détecteur adapté à une seule impulsion. Enfin, les estimations des seuils obtenues sont additionnées pour obtenir le seuil global [32].

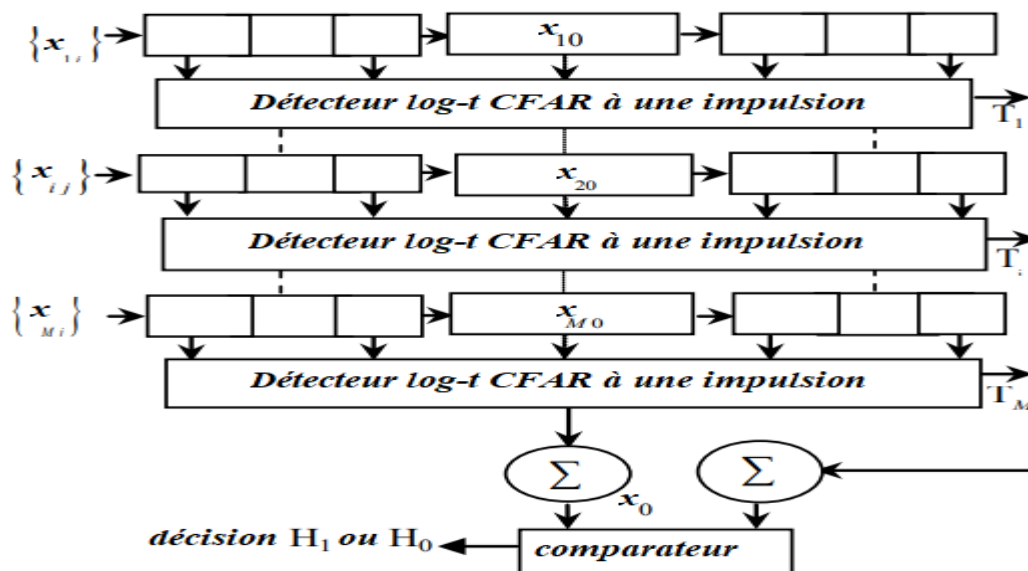


Figure II.13 : Intégration non-conventionnelle.

II.7.2.3. Intégration binaire

L'intégration binaire, à partir de M observations indépendantes, comme illustré dans la Figure II.14, traite chaque écho d'impulsion séparément. Ensuite, les décisions binaires U_i , $i=1, \dots, M$ sont intégrées selon une règle de décision L-parmi-M pour obtenir la décision finale.

Le rang L s'étend de 1 à M, où $L=1$ et $L=M$ correspondent respectivement aux règles de fusion booléennes "OU" et "ET" [32].

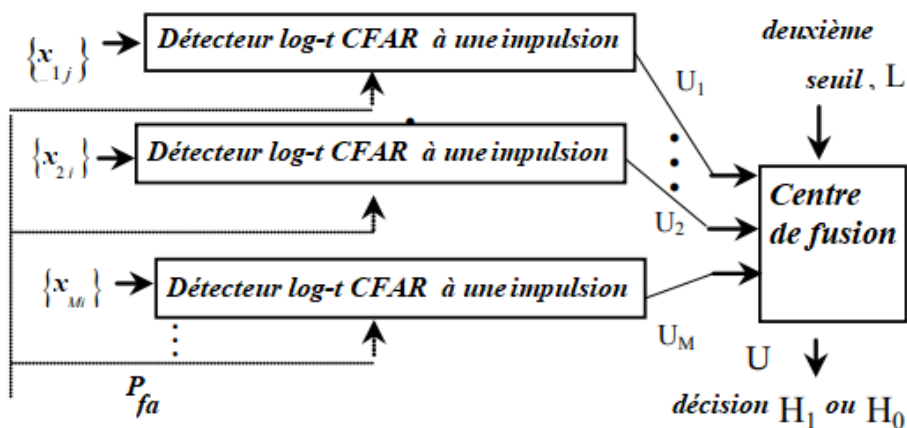


Figure II.14 : Intégration binaire.

II.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré divers aspects cruciaux des signaux indésirables et des modèles statistiques du clutter et des cibles. Nous avons abordé les techniques de détection, en mettant l'accent sur les détecteurs CFAR qui permettent de garantir un taux de fausses alarmes constant. Le chapitre a ensuite porté sur les techniques d'intégration de plusieurs impulsions telles que conventionnelle, non- conventionnelle et binaire.

Chapitre III

Simulations et Résultats

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous comparons les performances de détection du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion avec le même détecteur associé à la technique d'intégration binaire de plusieurs impulsions dans un milieu non gaussien de distribution Weibull. Tout d'abord, nous commençons par calculer les seuils adaptatifs pour deux différentes valeurs du nombre d'impulsions, soit 4 et 8 et cela pour une fenêtre de référence comprenant 36 cellules et une probabilité de fausses alarmes valant 10^{-4} . Ensuite, nous simulons les performances de détection pour deux types de cibles Swerling I et Swerling II, dans des environnements homogènes et hétérogènes.

- La fonction de densité de probabilité PDF des variables de Weibull est donnée par l'équation (II.1).
- En l'absence d'une cible, la cellule sous test CUT ne contient que les échos de fouillis, obtenue par :

$$x_{i0} = \sqrt{|S_i|^2 + |C_i|^2 + 2|S_i||C_i| \cos \varphi}, i = 1, \dots, M \quad (\text{III. 1})$$

M : Nombre d'impulsion.

S_i : Les échos de la cible.

C_i : Les échos du fouillis à l'impulsion i .

φ : L'angle aléatoire entre S_i et C_i .

- Le seuil adaptatif de le détecteur log-t-CFAR est déterminé par l'équation (II.16).

La statistique t peut être exprimée de manière simple en tant que :

$$t = \frac{x_0 - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}} \quad (\text{III. 2})$$

Où $\hat{\mu}$ et $\hat{\sigma}$ désignent respectivement la moyenne et l'écart-type estimés de l'échantillon de clutter.

- Le rapport entre la puissance moyenne de la cible et la puissance moyenne du clutter, noté SCR, pour un clutter de Weibull, exprimé en décibels (dB), est défini par :

$$SCR_{dB} = 10 \log_{10} \left[\frac{2\sigma_s^2}{\alpha^2 \Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right)} \right] \quad (\text{III. 3})$$

- Nous avons réalisé ces simulations à l'aide d'un programme MATLAB, version 2014.

III.2. Calcul des seuils de détection

Dans cette section, nous avons calculé les seuils adaptatifs en fonction de L (la règle de fusion L parmi M). Nous avons fixé la P_{fa} à 10^{-4} . Le nombre de simulations égal à 10^6 . Ce tableau présente les résultats pour 3 valeurs différentes du nombre d'impulsions M.

Tableau III.1 : Valeurs du paramètre de seuil τ du détecteur log-t-CFAR en fonction de L

L \ M	1	2	3	4	5	6	7	8
1	2.699							
4	3.771	2.237	1.6248997	1.2031				
8	3.038	2.128	1.729	1.5645	1.324	1.089	0.87	0.588

III.3. Performance de détection en milieu homogène

Dans un contexte d'homogénéité environnementale, nous avons procédé à la simulation de la probabilité de détection P_d via le rapport signal sur clutter SCR pour le détecteur log-t-CFAR associé à la technique d'intégration binaire de plusieurs impulsions, en considérant deux catégories de cibles distinctes : Swerling I et Swerling II. Ce faisant, nous avons également exploré un environnement de clutter caractérisé par une distribution Weibull, avec un paramètre de forme $\alpha=1$ et un paramètre d'échelle $\beta=3$. De plus, le nombre de cellules de référence N a été maintenu à 36. Tout cela a été réalisé pour deux valeurs différentes du nombre d'impulsions M, à savoir 4 et 8. Nous avons également simulé la probabilité de détection en fonction du SCR pour le même détecteur mono-impulsion.

III.3.1. Premier cas M=4

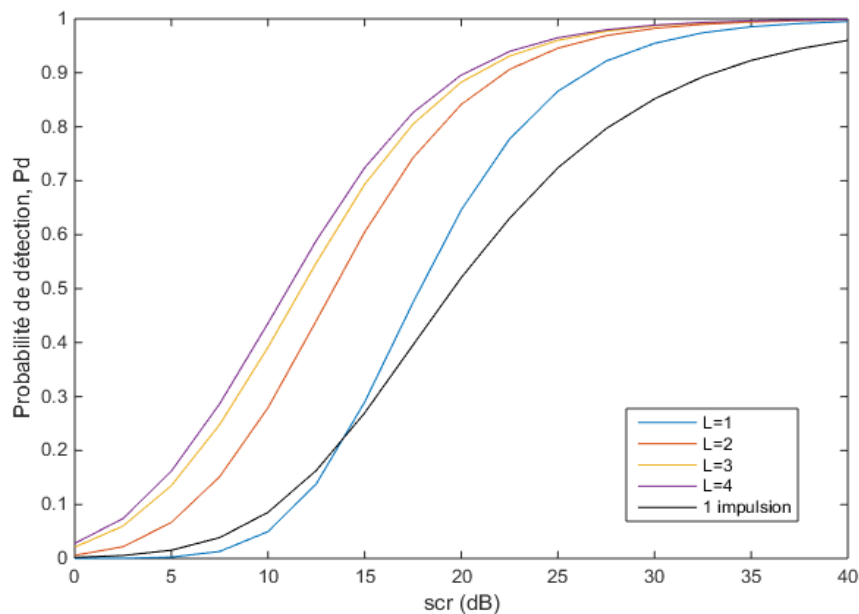


Figure III.1 : Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling I avec $M=4$, $N=36$ et $P_{fa} = 10^{-4}$.

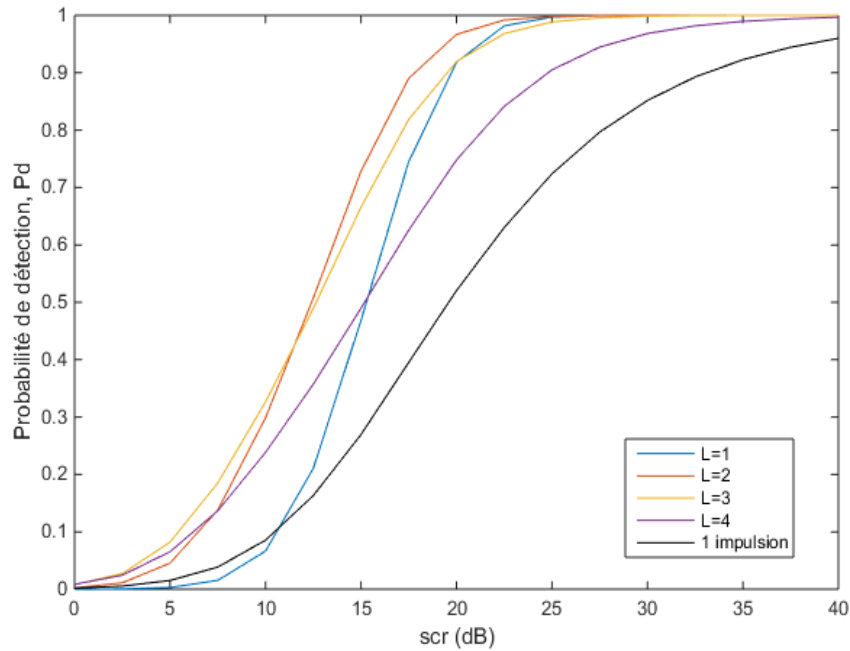


Figure III.2 : Probabilités de détection simulées en fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling II avec $M=4$, $N=36$ et $P_{fa} = 10^{-4}$.

Dans la **Figure III.1**, pour une cible de type Swerling I, nous observons que la courbe correspondant à $L=4$ présente la performance la plus élevée parmi les quatre courbes du détecteur multi-impulsion, sur tout l'intervalle. De manière significative, cette courbe surpasse également celle du détecteur mono-impulsion.

Une observation similaire est déduite de la **Figure III.2** pour une cible de type Swerling II, concernant la courbe correspondante à $L=3$, qui surpasse les autres courbes, y compris celle du détecteur mono-impulsion.

III.3.2. Deuxième cas $M=8$

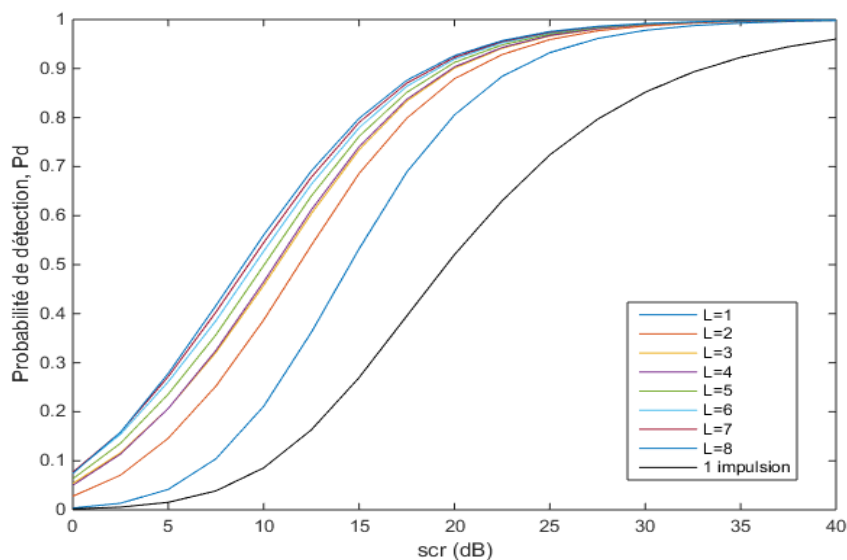


Figure III.3 : Probabilités de détection simulées en fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling I avec $M=8$, $N=36$ et $P_{fa} = 10^{-4}$.

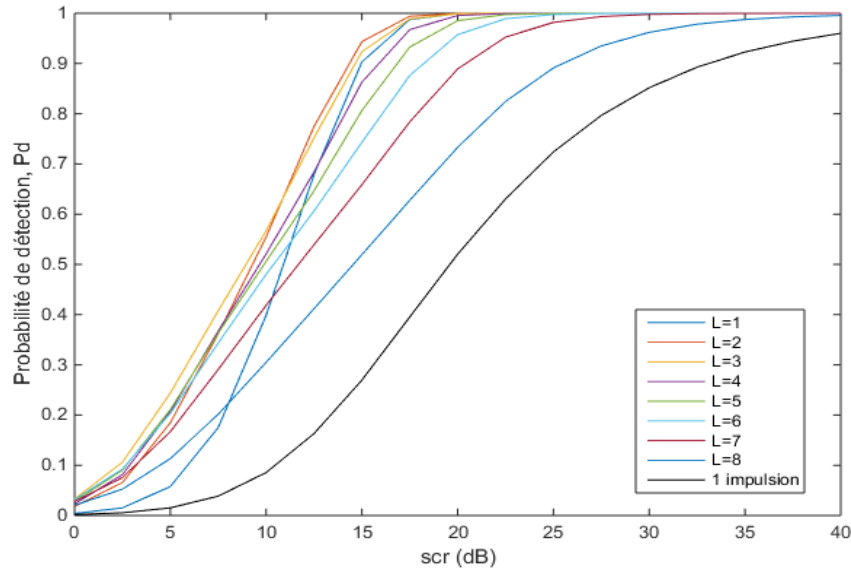


Figure III.4 : Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling II avec $M=4$, $N=36$ et $P_{fa} = 10^{-4}$.

Dans la **Figure III.3**, pour une cible de type Swerling I, nous remarquons que la courbe correspondant à $L=8$ présente la performance la plus élevée parmi les huit courbes du détecteur multi-impulsion, sur tout l'intervalle. De manière significative, cette courbe surpasse également celle du détecteur mono-impulsion.

Une remarque similaire est déduite de la **Figure III.4** pour une cible de type Swerling II, concernant la courbe correspondante à $L=3$, qui surpasse les autres courbes, spécifiquement où le SCR est inférieur à 10 dB, y compris celle du détecteur mono-impulsion.

III.4. Performance de détection en milieu hétérogène

Dans un contexte d'hétérogénéité environnementale, nous avons réalisé des simulations de la probabilité de détection P_d via le rapport signal sur clutter SCR pour le détecteur log-t-CFAR associé à la technique d'intégration binaire de plusieurs impulsions. Nous avons considéré deux catégories de cibles distinctes : Swerling I et Swerling II, ainsi que deux valeurs différentes des cibles interférentes n_i , à savoir 1 et 4. Pour ce faire, nous avons également exploré un environnement de clutter caractérisé par une distribution Weibull, avec un paramètre de forme $\alpha=1$ et un paramètre d'échelle $\beta=3$. De plus, le nombre de cellules de référence N a été maintenu à 36. Tout cela a été réalisé pour deux valeurs différentes du nombre d'impulsions M , à savoir 4 et 8, en choisissant la règle de fusion L parmi M qui correspond à la meilleure performance de détection selon les simulations précédentes. Nous avons également exploré la probabilité de détection en fonction du SCR pour le même détecteur mono-impulsion.

III.4.1. Premier cas M=4

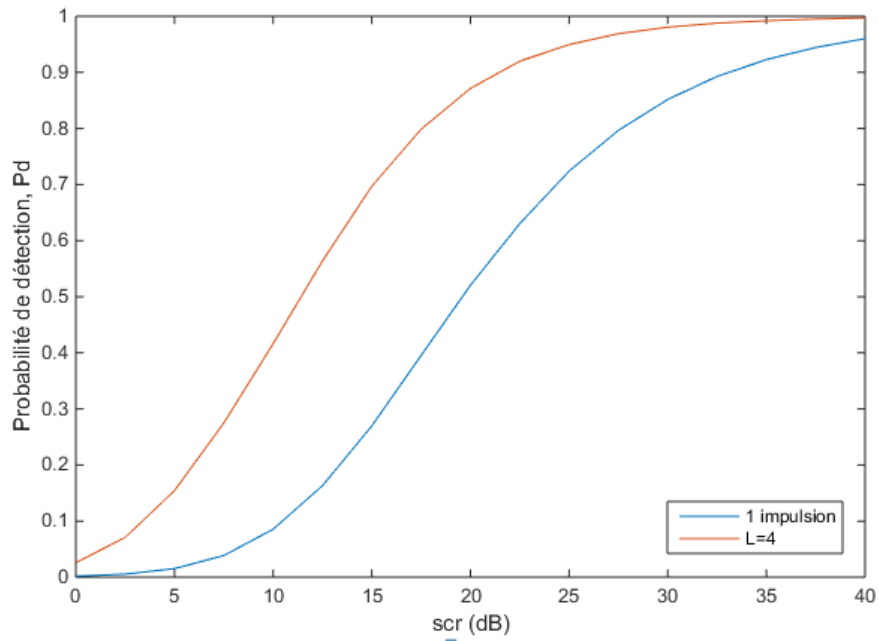


Figure III.5 : Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling I avec M=4, L=4, N=36, $P_{fa} = 10^{-4}$ et $n_i = 1$, en milieu hétérogène.

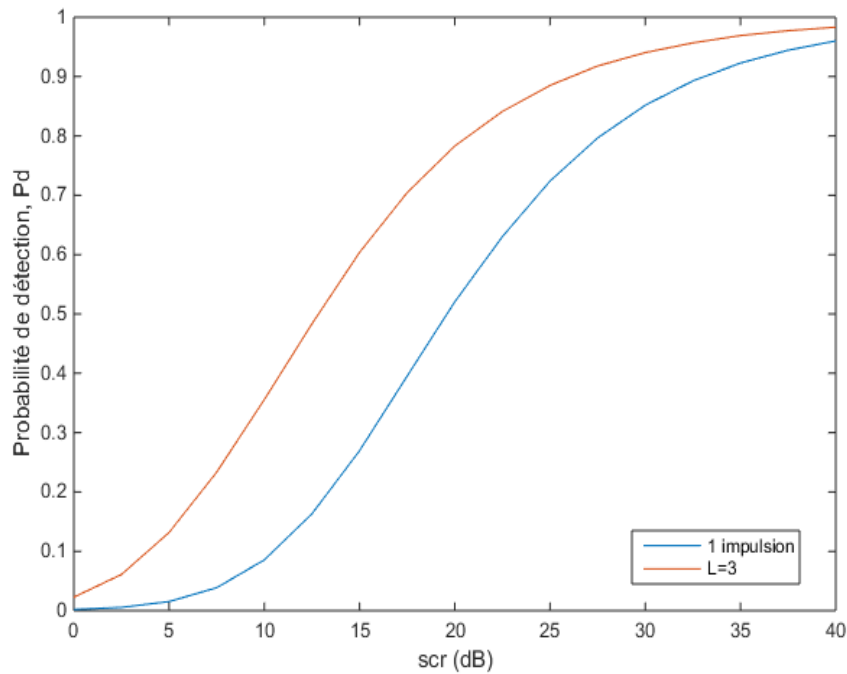


Figure III.6 : Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling II avec M=4, L=3, N=36, $P_{fa} = 10^{-4}$ et $n_i = 1$, en milieu hétérogène.

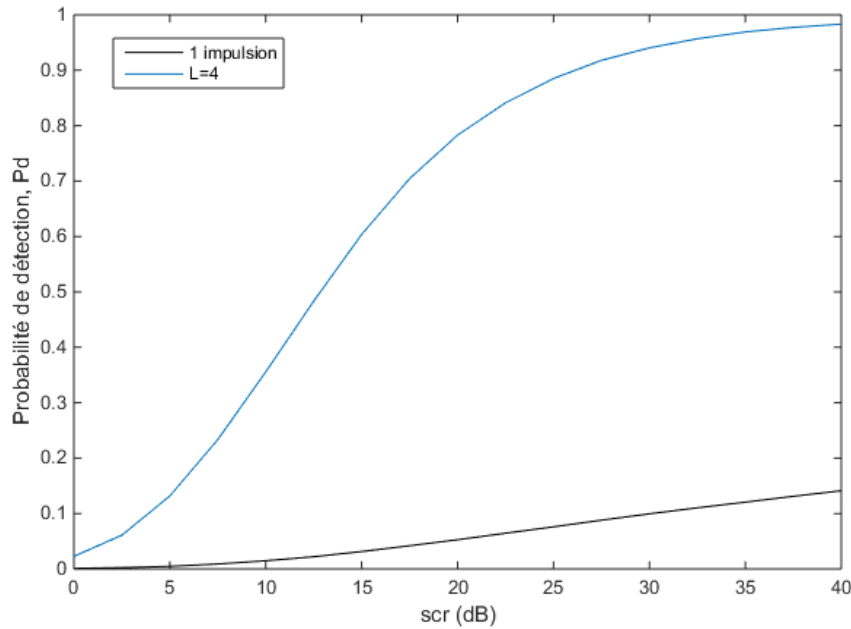


Figure III.7 : Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling I avec $M=4$, $L=4$, $N=36$, $P_{fa} = 10^{-4}$ et $n_i = 4$, en milieu hétérogène.

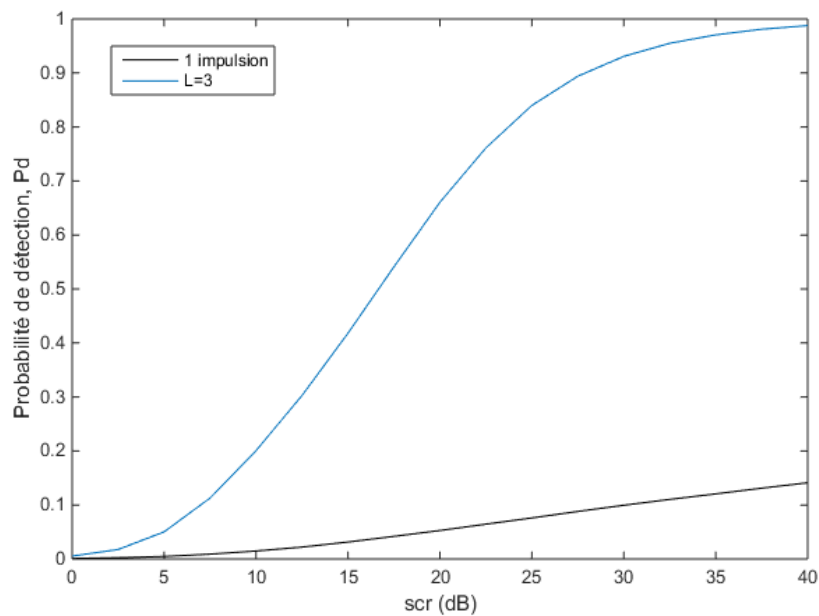


Figure III.8 : Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling II avec $M=4$, $L=3$, $N=36$, $P_{fa} = 10^{-4}$ et $n_i = 4$, en milieu hétérogène.

Dans la **Figure III.5**, nous constatons que la courbe du détecteur multi-impulsions est meilleure que celle du détecteur mono-impulsion sur tout l'intervalle. La même observation s'applique à la **Figure III.6**, bien que nous remarquons une légère baisse de performance du détecteur multi-impulsions, celui-ci reste néanmoins supérieur au détecteur à mono-impulsion.

En ce qui concerne les figures **III.7** et **III.8**, nous observons une très forte dégradation de la courbe du détecteur mono-impulsion, qui devient totalement inutilisable. Cela est dû à l'augmentation du nombre de cibles interférentes, passant d'une cible unique à quatre cibles.

III.4.2. Deuxième cas M=8

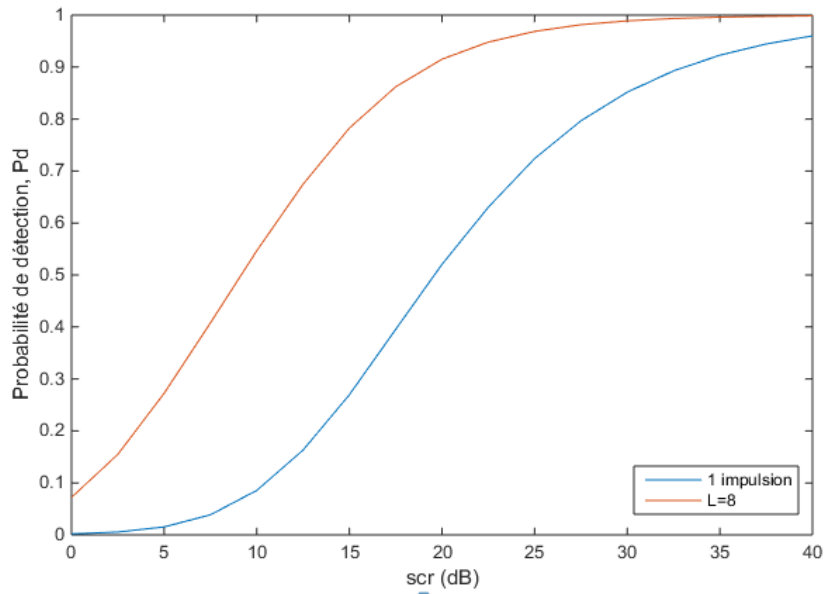


Figure III.9 : Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling I avec $M=8$, $L=8$, $N=36$, $P_{fa} = 10^{-4}$ et $n_i = 1$, en milieu hétérogène.

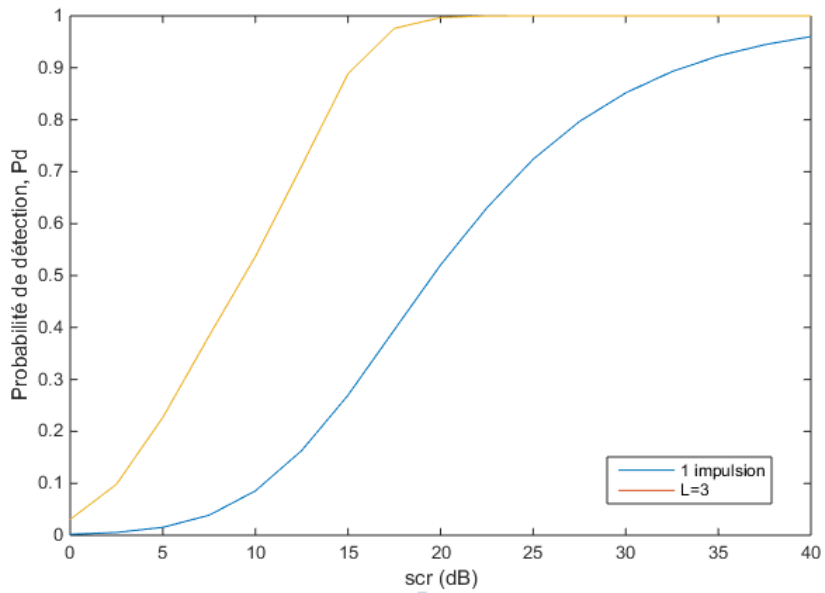


Figure III.10 Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling II avec $M=8$, $L=3$, $N=36$, $P_{fa} = 10^{-4}$ et $n_i = 1$, en milieu hétérogène.

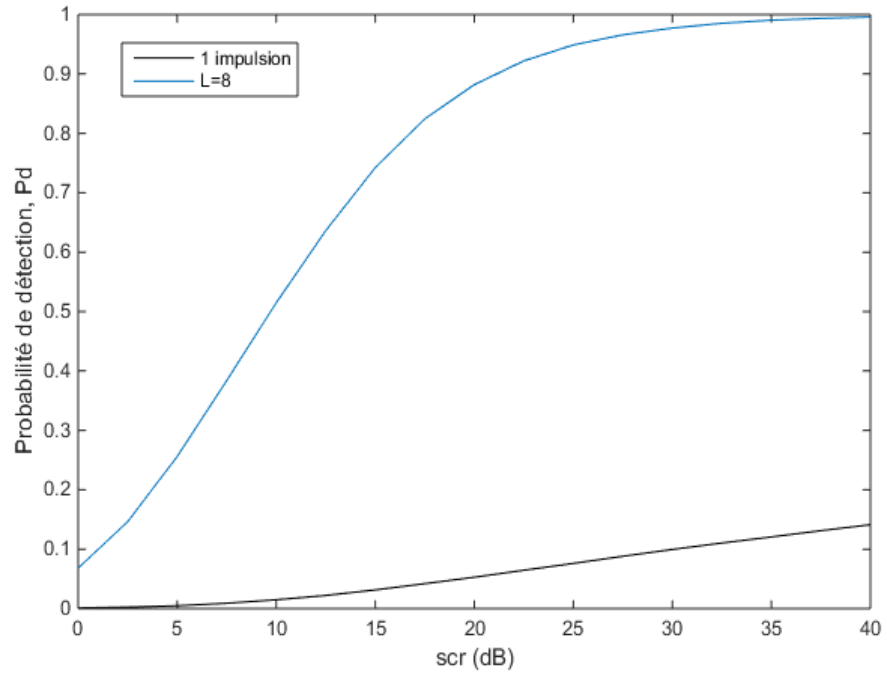


Figure III.11 Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling I avec $M=8$, $L=8$, $N=36$, $P_{fa} = 10^{-4}$ et $n_i = 4$, en milieu hétérogène.

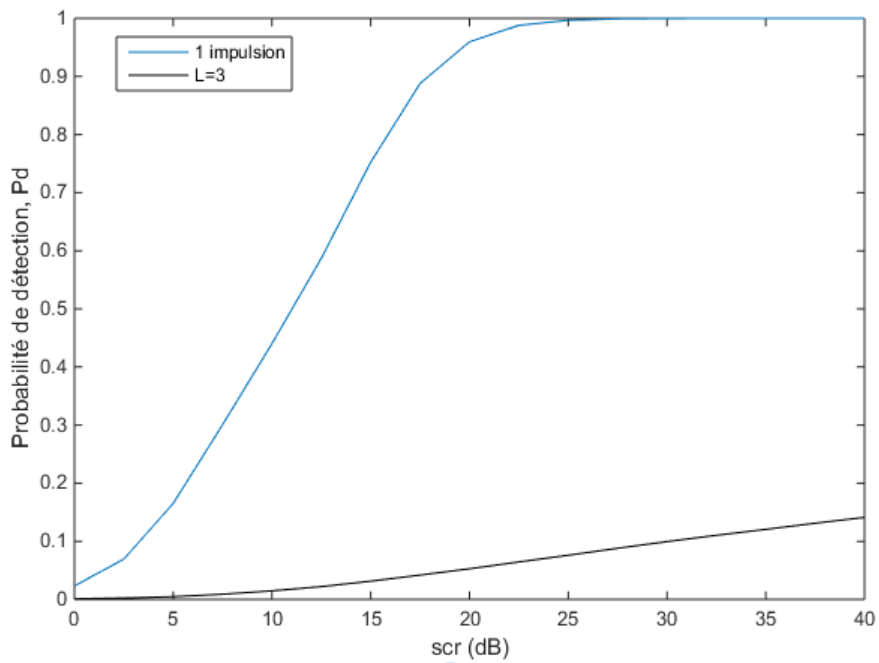


Figure III.12 : Probabilités de détection simulées on fonction de SCR du détecteur log-t-CFAR mono-impulsion et multi-impulsion pour une cible de Swerling II avec $M=8$, $L=3$, $N=36$, $P_{fa} = 10^{-4}$ et $n_i = 4$, en milieu hétérogène.

Dans la **Figure III.9**, il est clairement démontré que la performance du détecteur multi-impulsions est supérieure à celle du détecteur mono-impulsion sur l'ensemble de l'intervalle étudié. Une tendance similaire est observée dans la **Figure III.10**, bien que le détecteur multi-impulsions montre une amélioration continue de ses performances, surpassant toujours le détecteur mono-impulsion.

Cependant, les figures **III.11** et **III.12** nous révèlent une dégradation marquée des performances du détecteur mono-impulsion, le rendant complètement inefficace. Cette dégradation significative est attribuée à l'augmentation du nombre de cibles interférentes, passant d'une seule cible à quatre cibles.

III.5. Conclusion

Nous avons procédé aux simulations pour évaluer les performances des détecteurs log-t-CFAR utilisant la technique d'intégration binaire de plusieurs impulsions et mono-impulsion, confrontés à du clutter non gaussien selon la distribution Weibull. Cette évaluation a été menée pour deux types de cibles, Swerling I et Swerling II, dans des environnements à la fois homogènes et hétérogènes.

Les résultats suggèrent que le détecteur log-t-CFAR à plusieurs impulsions surpasse significativement le détecteur mono-impulsion dans tous les scénarios évalués. Néanmoins, dans des environnements non homogènes où existent plusieurs cibles interférentes, la performance du détecteur mono-impulsion décline de manière significative.

Conclusion générale

Dans le domaine de la détection radar, diverses techniques adaptatives ont été utilisées pour établir le seuil qui permet d'améliorer la probabilité de détection tout en garantissant un taux de fausses alarmes constant. Dans cette optique, les techniques d'intégration de plusieurs impulsions viennent s'imposer dans la littérature radar.

Ce mémoire porte essentiellement sur l'utilisation du détecteur log-t-CFAR dans un clutter Weibull homogène et non homogène, lorsqu'il est associé à la technique d'intégration non cohérente binaire. Afin d'y parvenir, nous avons établi une comparaison entre le log-t-CFAR mono impulsion et celui associé au traitement multi-impulsion. Pour évaluer leur efficacité dans diverses situations, nous avons exposé les résultats de simulation Monte-Carlo pour différentes valeurs de L (loi de fusion binaire) et ce pour deux types de cibles Swerling I et II.

Le log-t-CFAR associé à l'intégration binaire a révélé une amélioration de la performance de détection par rapport à celui mono-impulsion surtout en milieu hétérogène. Plus le nombre de cibles interférentes augmente, mauvaise est la probabilité de détection du processus mono impulsion. Aussi, plus le nombre d'impulsion est grand, meilleure est la détection surtout en milieu homogène.

Cependant, ce travail ne traite pas le cas où une transition de puissance se produit dans la fenêtre de référence, ni le cas où les deux types d'hétérogénéité sont concomitamment présents. C'est pourquoi un travail futur peut étudier ces problèmes. Il est possible aussi de comparer les autres techniques d'intégration non cohérente, voire conventionnelle et non conventionnelle, à la technique d'intégration binaire associé au log-t-CFAR ou à un autre détecteur pour un milieu non gaussien.

Références bibliographiques

- [1] I. Meriout, « Détection Radar à Taux de Fausse Alarmes Constant », mémoire Présenté en vue de l'obtention du diplôme de professeur d'Enseignement Secondaire Technologique, Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technologique -Skikda-, 2022/2023.
- [2] م.لعللو، إشلينغ، « كشف رادار بنسبة إنذار خاطئ ثابتة في وسط Log-normal » ، مذكرة تخرج المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي -سكيكدة-، 2023/2022.
- [3] B. Draï, A. Bouchelaghem, « Analyse des processeurs CA-CFAR GO-CFAR et SO-CFAR dans un environnement non homogène », mémoire Master académique, université de Blida, 2011/2012.
- [4] مؤتمن ميرغني دفع الله، « مبادئ الرادار » ، أكاديمية كرري للتقانة، الطبعة الأولى، 2006م.
- [5] Kh. Chemini, A. Alime, « Analyse des performances des détecteurs radar CFAR dans un clutter Non-Gaussien », mémoire Master académique, université de M'sila, 2019.
- [6] M.R. Krattou, « Étude De La Détection Radar Dans Un Milieu Homogène », mémoire Master académique en télécommunication, université de Tlemcen, 2012/2013.
- [7] Éditeur : Christian Wolff, version 16 Décembre 2023, site internet : www.radartutorial.eu
- [8] علي طه حسين، محمد غسان عبد السلام، « هندسة النظم الرادارية » ، دمشق، 2020.
- [9] الدكتور علي طه حسين، « الأنظمة الرادارية في مواجهة التشويش و الخداع » ، منشورات المعهد العالي للعلوم التطبيقية و التكنولوجيا، 2011.
- [10] S. MEGUELATI, COURS RADAR, Université de Blida Faculté des sciences de l'ingénieur Département Aéronautique Option : installation 5 -ème Année ingénieur, 2009/2010.
- [11] « Techniques radars », mémoire Master académique, université de Batna 2, 2020.
- [12] C. Mialon et al., INRS, "Champs électromagnétiques : Les radars", fiche technique ED 4212. Paris, Novembre 2020.
- [13] S. Chabbi, « Detection Adaptative CFAR A Censure Automatique Basse Sur Les Statistiques D'ordre En Milieux Non Gaussiens », Université De Constantine, 2008.
- [14] Emmanuelle JAY, « Détection en environnement non Gaussien », Thèse présentée pour l'obtention du Doctorat, université de Cergy Pontoise, Juin 2002.
- [15] Lai,Chin-Diew, « Generalized Weibull Distributions ». Allemagne, Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [16] M. L. Abell, J. P. Braselton, « Statistics with matematica». Royaume-Uni, Elsevier science, 1999.

- [17] Ülkü Doyuran, « Radar target detection in non-gaussian clutter », A thesis submitted to the graduate school of natural and applied sciences of middle east technical university, 2007.
- [18] Guida, M. et al, « Biparametric Linear Estimation for CFAR against Weibull Clutter », IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, AES-28, (1), January 1992, pp. 138-152.
- [19] Al-Sakib Khan Pathan, Muhammad Mostafa Monowar, « Simulation Technologies in Networking and Communications », 1st edition, 2014.
- [20] T. Laroussi, « Détection Adaptative CFAR De Cibles Chi Square Corréllées À Plusieurs Degrés De Liberté En Présence De Fouillis Rayleigh Corréle », Thèse De Doctorat D'état, Université De Constantine, 2005.
- [21] S. Achbi, et Abadli, « analyse des performances des détecteurs CA, OS et ML-CFAR dans un clutter de distribution WEIBUL », mémoire d'ingénieur d'état, université de Biskra, 2006.
- [22] GOY Philippe, « Détection d'obstacles et des cibles de collision par un Radar FMCW aéroporté », Université Toulouse, 2012.
- [23] L. ABDOU, « Application des algorithmes évolutionnaires à l'optimisation du seuil de détection dans les systèmes distribués CFAR », Université de Batna, 2009.
- [24] Morad Barakat, « Signal Detection and Estimation», Artech house radar library, Inc, United States of America, 2nd edition, 2005.
- [25] B. Atrouz, « Les Systems Radar », Ecole Militaire Polytechnique.
- [26] M. Carpentier, « Radars : Bases Modernes », MASSON, 6ème édition, 1990.
- [27] C. Alioua, « Détection Adaptative CFAR Distribuée Utilisant la Logique Floue et les Réseaux Neuro-Flous », thèse doctorat, université de Mentouri Constantine, 2011.
- [28] Trunk, G.V, «Range Resolution of Targets Using Automatic Detectors», IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System, pp. 750-755, 1978.
- [29] M. C. Budge, Shawn R, « Basic Radar Analysis », 2nd edition, 2022.
- [30] Eyung W. Kang, « radar system analysis, design, and simulation », 2008.
- [31] V. Madisetti, « Digital signal processing handbook », 1999.
- [32] N. Detouche and T. Laroussi «Extensive Monte Carlo Simulations for Performance Comparison of Three Non-Coherent Integrations Using Log-t-CFAR Detection against Weibull Clutter», 6th Int. Conf. On SETIT, pp. 726-729, Sousse, Tunisia, March,2012.