

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE.

UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA 1.

Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales.



**Projet de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER en Aéronautique**

Option : CNS/ATM

THEME:

**Simulation et Réalisation d'un radar sur circuit
basse fréquence**

Encadré par:

Mr LAGHA Mohand

Réalisé par:

-BOUNAB Mohamed Nadim

-KECIRA Houssam Eddine

PROMOTION : 2016

ملخص:

يتكون مشروعنا ؛ أولاً إنشاء محاكاة لرادار على SIMULINK (ماتلاب) قادر على تحديد بعد الحاجز منه. ثم إلى تحقيق رادار على الترددات المنخفضة يعرض بعد الحاجز عن طريق سلسلة من المصابيح (leds).

Abstract:

Our project consists firstly of creating a simulation of a pulse radar on Simulink (Matlab) that determine the distance X of the target. Then, a realization of a radar on low frequency circuit, displaying the distance of the target by means of a series of LEDs.

Résumé

Notre projet consiste en la programmation sous simulLink d'un radar à impulsion sur matlab, capable de déterminer la distance X de la cible par rapport au radar. D'autre part faire une réalisation d'un radar sur circuit basse fréquence affichant la distance de la cible (obstacle) à l'aide d'une série de Leds.

Remerciements :

Tout d'abord, nous tenons à exprimer tous nos remerciements et louanges à DIEU tout puissant qui nous a donné la force et la patience pour accomplir ce modeste travail.

La rédaction de ce mémoire nous a permis d'apprécier la qualité des gens, qui nous ont apporté beaucoup d'aide et de soutien dans notre recherche et qu'on souhaite aujourd'hui les remercier.

Nos remerciements les plus sincères s'adressent à notre encadreur Mr LAGHA Mohand, ainsi qu'à monsieur MEGUELATI et à madame AZINE, qui nous ont prodigués sans compter conseils et observations, qui ont répondu à toutes nos sollicitations et qui nous ont sans cesse encouragés à persévérer.

En fin nos vifs remerciements à l'ensemble du corps enseignants de l'institut d'aéronautique de Blida qui nous ont accompagné et guidé tout au long de notre cursus universitaire pour mener à bien ce projet.

Dédicace :

*J'exprime tout particulièrement ma gratitude à
ma mère, mon père et à Mlle Khesrani Chiraz, qui
m'ont écouté, aidé et beaucoup encouragé. Sans eux
l'achèvement de ce projet aurait été beaucoup plus
difficile. Je Leur dédie ce modeste travail.*

Nadim

Je dédie ce modeste travail

A celle qui m'a donné la vie, qui s'est sacrifiée pour ma réussite et mon bonheur, à ma mère.

A mon père, qui a été mon ombre durant toutes les années des études et qui a veillé tout au long de ma vie à me donner l'aide et à me protéger.

Que dieu les garde et les protège.

A ma unique sœur SARAH

A mes meilleurs amis, Samir, Nonor et Younes.

Houssam Eddine

SOMMAIRE:

Résumé	1
<i>Remerciements</i> :	
<i>Dédicace</i> :	
Introduction générale.....	1
I CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LE SYSTÈME RADAR.....	3
I.1 Introduction :.....	4
I.2 Composants d'un Radar :.....	5
I.3 Principe de fonctionnement d'un Radar	7
I.4 Différentes types de Radars :.....	7
I.4.1Le Radar à onde continue :.....	7
I.4.2Le Radar à impulsion :.....	8
I.4.3Le Radar panoramique	8
I.4.4Le Radar de poursuite.....	8
I.4.5Le Radar de sitometrie (radioaltimètre).....	8
I.4.6Le Radar transhorizon.....	9
I.4.7Le Radar illuminateur	9
I.4.8Le Radar à bruit.....	9
I.5 Clutter et Bruit.....	9
I.5.1Définition de Bruit	9
I.5.2Définition de Clutter	10
I.5.3Types de clutter (fouillis) :	10
I.6 Équation Radar	11
I.7 Ambiguïté en distance	12
I.8 Radar et effet Doppler	13
I.9 Modèles de cibles fluctuantes :.....	14
I.9.1Modèle 1 de Swerling :.....	15
I.9.2Modèle 2 de Swerling.....	16
I.9.3Modèle 3 de Swerling.....	16
I.9.4Modèle 4 de Swerling.....	16
I.9.5Modèle 0 ou 5 de Swerling.....	17
I.10 Phases de traitement de signal	17
I.11 Conclusion	18

II	CHAPITRE II : ETUDE THEORIQUE DES DIFFERENTS ETAGES D'UN SYSTEME RADAR.....	21
II.1	ETUDE DES DIFFERENTS COMPOSANT D'UN SYSTEME RADAR.....	22
II.1.1	L'ANTENNE :.....	22
II.1.2	L'EMISSION :.....	27
II.1.3	LA RECEPTION :.....	28
II.1.4	EXPLOITATION	30
II.1.5	SYNCHRONISATEUR :.....	31
II.2	La simulation du radar sur Matlab :	31
II.2.1	Paramétrages des différents blocs :.....	31
II.2.2	L'exécution du simulateur :.....	43
II.2.3	Conclusion :	44
III	CHAPITRE III : LA REALISATION DU RADAR ET LA SIMULATION SUR MATLAB.....	45
III.1	L'ETUDE THEORIQUE DES DIFFERENTS ETAGES DU CIRCUIT BASSE FREQUENCE.....	46
III.1.1	INTRODUCTION :.....	46
III.1.2	Schéma principale :.....	47
III.1.3	La paire de transducteurs:.....	48
III.1.4	Partie émission :	48
III.1.5	Partie réception :	53
III.2	Réalisation pratique du circuit basse fréquence.	63
III.2.1	Principe:.....	64
III.2.2	Fonctionnement :	64
III.2.3	La réalisation.....	67
IV	Conclusion générale :.....	73
	ANNEXE :.....	74
	Bibliographie :.....	77

Liste des figures

Figure I. 1 : Antenne Radar	4
Figure I. 2 : Radar, 120 ans de développement.....	4
Figure I. 3 : synoptique d'un Radar.....	6
Figure I. 4 : schéma représentant les différents types de radar	7
Figure I. 5 Illustration de l'ambiguïté en distance.	13
Figure I. 6 Modèles de surface équivalente	14
Figure I. 7 Swerling 1	15
Figure I. 8 Swerling 2	16
Figure I. 9 Swerling 3	16
Figure I. 10 Swerling 4	16
Figure I. 11 Swerling 5	17
Figure I. 12 la phase du traitement de signal radar.....	17
Figure I. 13 Schéma présentant différentes phase de traitement de signal radar.....	18
Figure II. 14 : Le courant électrique dans un dipôle à deux brins égaux dont la longueur	23
Figure II. 15 : Une antenne cornet.....	24
Figure II. 16 : antenne à hélice axiale	24
Figure II. 17 : Paraboloïde de révolution	25
Figure II. 18 : antennes à balayage conique	25
Figure II. 19 Antennes Cassegrain	26
Figure II. 20 Antennes à balayage électronique	26
Figure II. 21 : chaîne type de réception.....	30
Figure II. 22 Projection plane d'écho détecté par un radar.	31
Figure II. 23 schémas du circuit basse fréquence.....	47
Figure II. 24 : l'astable et les signaux en différentes pointes	49
Figure II. 25 : montage d'un Dérivateur	51
Figure II. 26 La bascule monostable et les signaux en différentes pointes	52
Figure II. 27 Etage d'amplification	54
Figure II. 28 : montage Préamplificateur.....	54
Figure II. 29 : schéma équivalent du montage préamplificateur	55
Figure II. 30 : Montage amplificateur inverseur	56
Figure II. 31 : montage émetteur commun	57
Figure II. 32 : Circuit de démodulation	58
Figure II. 33 : circuit séquenceur	59
Figure II. 34 : Circuit de comptage et d'affichage de distance	60
Figure II. 35 : Le Trigger de Schmitt	60
Figure II. 36 : Le compteur décimal 4017	62
Figure II. 37 : différentes opérations réalisées par le 4017	63
Figure II. 38 : Graphique démontrant les sorties du compteur.....	63
Figure III. 39 : L'échelle de l'estimation de la distance de la cible.....	67
Figure III. 40 : Le circuit imprimé coté cuivre	68
Figure III. 41 : Le circuit imprimé coté éléments	68
Figure III. 42 : Radar en fonction sans cible (1 led allumé).....	69
Figure III. 43 : cible à plus de 1.5 m (1led allumé)	70

Figure III. 44 : Cible à 1.2m (3 les allumé).....	70
Figure III. 45 : Cible à 60 cm (6 led allumé)	71
Figure III. 46 : l'estimation de la distance de la cible.....	71
Figure 47 : les circuits intégrés 4001 et 4011	76

Introduction générale

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 quel que soit les variations du milieu.

L'objectif de ce projet est :

-Cree une simulation d'un radar sur Simulink (Matlab) :

Le travail à effectuer est de simulé les différents étages d'un radar (un générateur d'hyperfréquences, un étage RF, simuler une cible avec une distance X, une étage de traitement de signal et l'affichage de la distance) de les tester puis de les assembler et de régler le paramétrage de chaque bloc pour éviter tout conflit ou incompatibilité.

- Faire une réalisation d'un radar sur circuit basse fréquence à 40 KHz :

Le travail à effectuer se décompose en plusieurs parties. La première étape est la conception du montage, accompagnée du câblage et des solutions proposées afin de les tester et de les valider. La deuxième étape est la réalisation de ce radar sous forme d'un circuit imprimé. Enfin, il s'agit de procéder aux réglages et à l'étalonnage du radar, de vérifier son bon fonctionnement, et éventuellement d'en déterminer les limites d'utilisation.

Qu'est-ce qu'un radar sur circuit basse fréquence ?

Le principe, inspiré de la chauve-souris, est d'envoyer une salve d'ultrasons de 40KHz vers un objet les réfléchissant, tel qu'un mur ou une vitre, et de capter l'écho renvoyé par cet objet.

On accède à la distance séparant le radar de cet objet en mesurant le temps que met l'écho pour revenir à ce dernier. Connaissant la vitesse du son, on déduit la distance cherchée.

Avant de commencer tout travail, il convient de se fixer un cahier des charges afin de cerner précisément les objectifs, dont voici la liste :

- mesurer une distance de l'ordre de quelques mètres ; réaliser un radar portatif alimenté par une pile 9V
- afficher directement cette distance par l'intermédiaire d'une série de led avec une échelle.

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS

SUR LE SYSTÈME RADAR

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. 1 : Antenne Radar

- **Historique du Radar :**

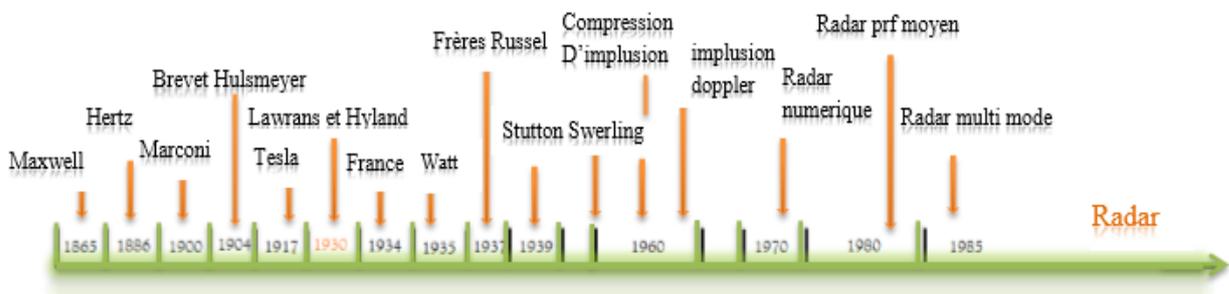


Figure I. 2 : Radar, 120 ans de développement

L'histoire du RADAR actuel était initiée au 19ème 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 [1].

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 obscur. 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 azimut 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.2 Composants d'un Radar :

Le RADAR comporte les éléments de la figure suivante

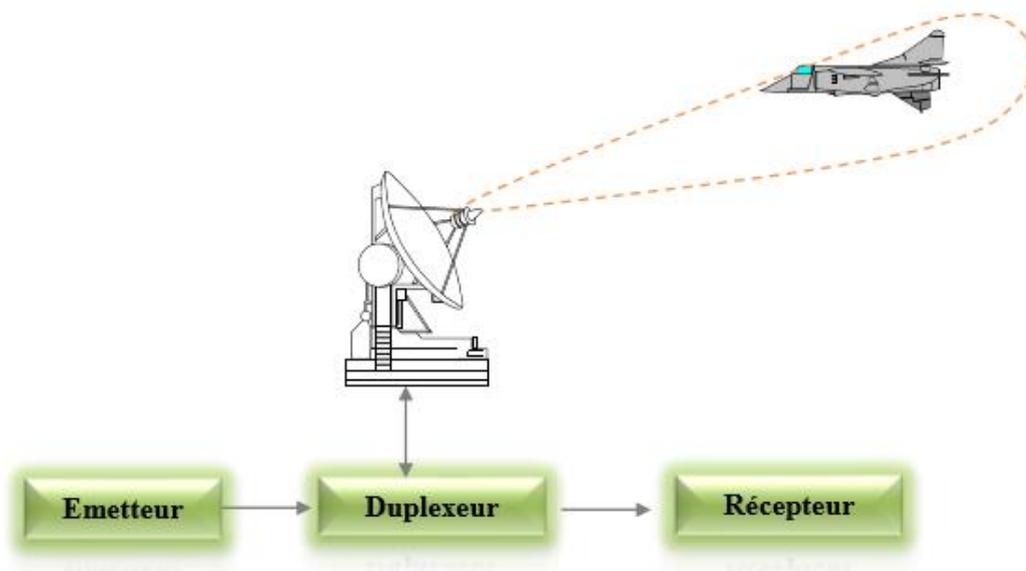


Figure I. 3 : synoptique d'un Radar.

- 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 voulue. 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 travail sur le principe qu'un émetteur émet dans son environnement un faisceau d'ondes radioélectriques et attend qu'ils se réfléchies par la cible et se détectées par un récepteur pour donner des informations tels que :la position qu'elle est estimée à partir du calcule 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 :

$$d = \frac{c \times \Delta T}{2} \quad \text{I.1}$$

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 :

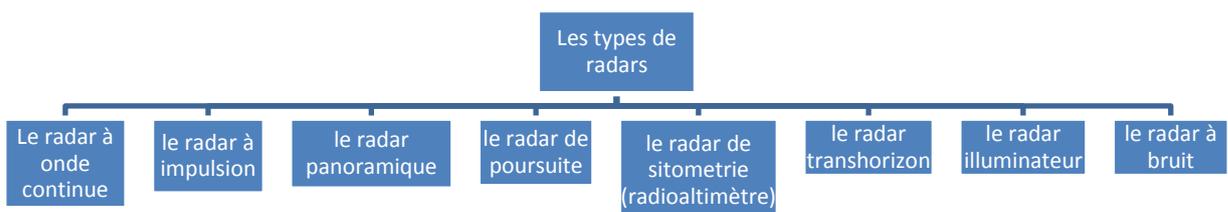


Figure I. 4 : schéma représentant les différents types de radar

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 sitometrie (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 rase-mottes 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.5.3 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 :

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

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.

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 dans la direction du rayonnement maximum d'une antenne de gain G_t s'écrit donc d'après l'équation :

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

Une cible de SER 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 :

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

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

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

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) :

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

L'équation radar (I.7) est celle d'un radar bi statique, 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 mono statique, 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 $G_t = G_r = G$:

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

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

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

I.7 Ambiguïté en distance

Les émissions du radar sont périodiques et constituées d'un court intervalle 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.5) 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.

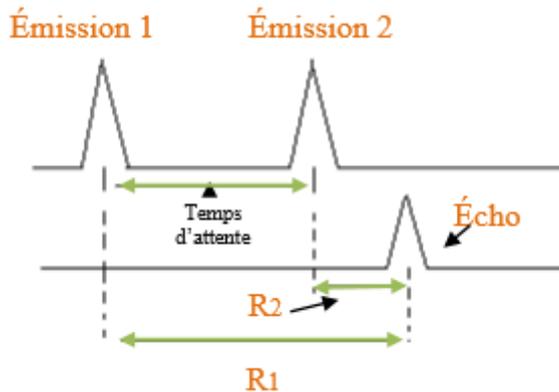


Figure I. 5 Illustration de l'ambiguïté en distance.

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 [4]. 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 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 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. 6 Modèles de surface équivalente

Lorsque le signal émis par un radar rencontre une cible, la puissance réfléchiée 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.

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 :

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

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

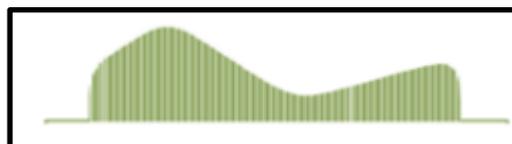


Figure I. 7 Swerling 1

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

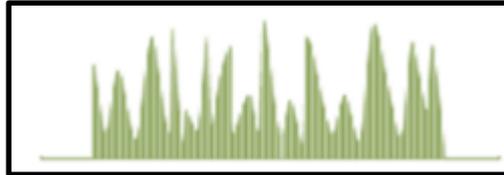


Figure I. 8 Swerling 2

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 :

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



Figure I. 9 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).

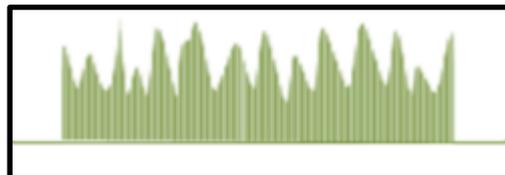


Figure I. 10 Swerling 4

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)

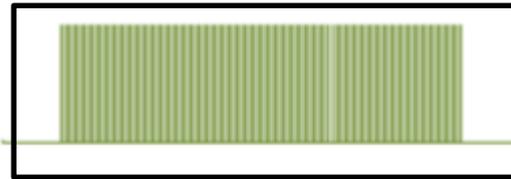


Figure I. 11 Swerling 5

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.

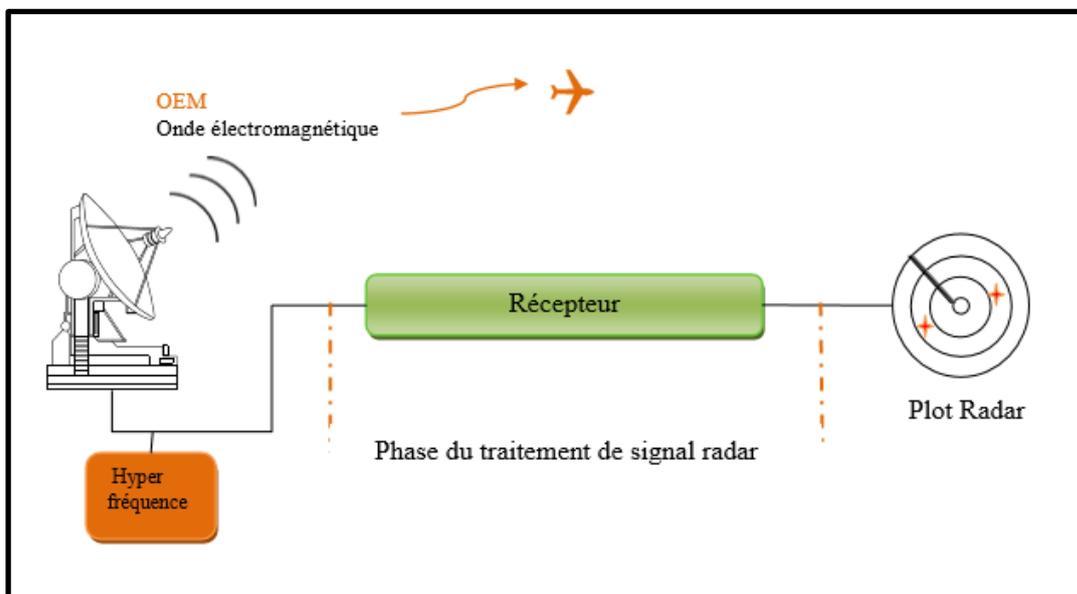


Figure I. 12 la phase du traitement de signal radar

Au début le signal va subir une amplification à l'étage RF dont il est aussi filtrée (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 servie 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)

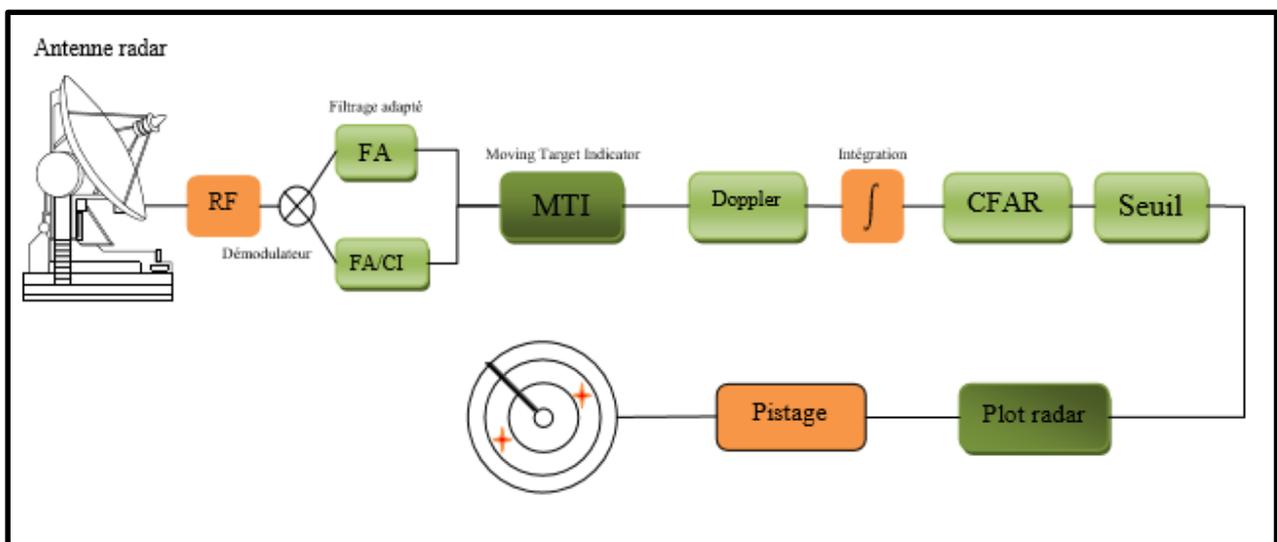


Figure I. 13 Schéma présentant différentes phase de traitement de signal radar

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.

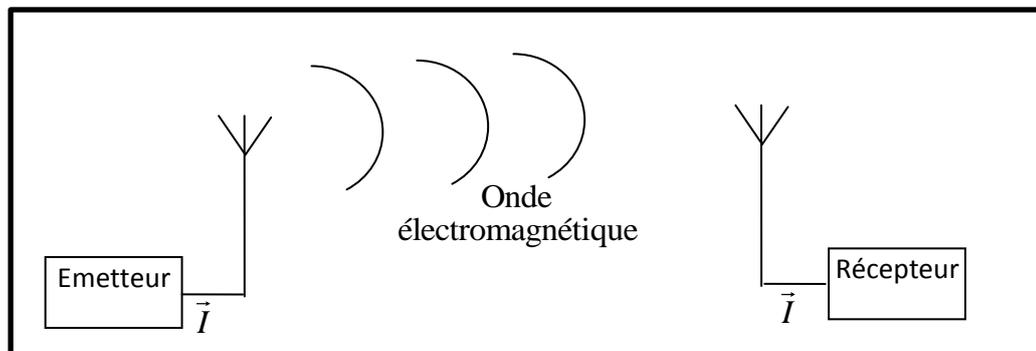
CHAPITRE II :
SIMULATION D'UN SYSTEME
RADAR.

II.1 ETUDE DES DIFFERENTS COMPOSANT D'UN SYSTEME RADAR.

II.1.1 L'ANTENNE :

II.1.1.1 DEFINITION DES ANTENNES :

Une antenne en émission est un dispositif qui transforme un courant en une onde électromagnétique susceptible de se propager dans l'espace. Une antenne en réception effectue le processus inverse.



II.1.1.2 ROLE

Son rôle est de concentrer l'énergie émise par le radar dans un angle solide déterminé. Ainsi, elle rayonne dans l'espace et capte de l'énergie sous forme de champs électromagnétique à hautes fréquences.

L'antenne assure donc :

- l'adaptation entre le milieu guidé et l'espace libre ; lorsque cette adaptation est parfaite, la transition se fait sans perte, c'est-à-dire que toute l'énergie provenant du milieu guidé est rayonnée dans l'espace.
- la répartition de l'énergie rayonnée dans l'espace (elle se caractérise par le *diagramme de rayonnement* de l'antenne).

La forme de l'antenne dépend des exigences du point de vue repérage horizontal et vertical.

Elles sont composées :

- un réflecteur
- une source d'éclairement
- une ligne d'alimentation
- un socle

II.1.1.3 LA SOURCE

Les antennes radars sont toutes faites à partir de *sources primaires* ou élémentaire qui sont soit installées au foyer d'une optique, soit associées en réseaux. Les sources élémentaires ont presque toujours un rayonnement qui n'est pas très directif (faisceau de rayonnement large). La directivité (finesse du faisceau) est donc obtenue soit par l'optique, soit par l'organisation en réseaux.

Les sources élémentaires sont essentiellement les suivantes:

A-Dipôle demi-onde :

Un dipôle $\frac{\lambda}{2}$ ou dipôle demi-onde est une antenne formée par deux conducteurs de longueur totale égale à une demi-longueur d'onde. Cette longueur n'a rien de remarquable du point de vue électrique. L'impédance de l'antenne ne correspond ni à un maximum ni à un minimum.

L'impédance n'est pas réelle bien qu'elle le devienne pour une longueur du dipôle proche. La seule particularité de cette longueur est que les formules mathématiques se simplifient énormément.

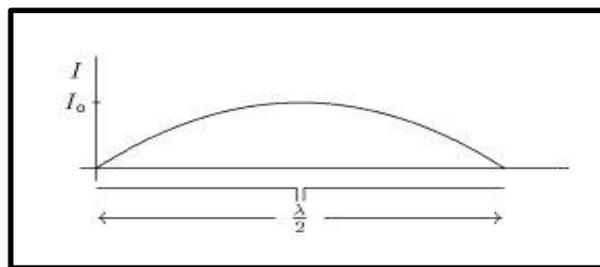


Figure II. 14 : Le courant électrique dans un dipôle à deux brins égaux dont la longueur

Il est très utilisé dans les réseaux de sources. Associé à un réflecteur, il peut également servir de source primaire pour éliminer un paraboloïde. Il est généralement à bande assez étroite.

B-Les cornets :

On appelle **cornet** un guide d'onde à section progressivement croissante se terminant par une ouverture rayonnante. Ils fournissent des ondes polarisées linéairement.

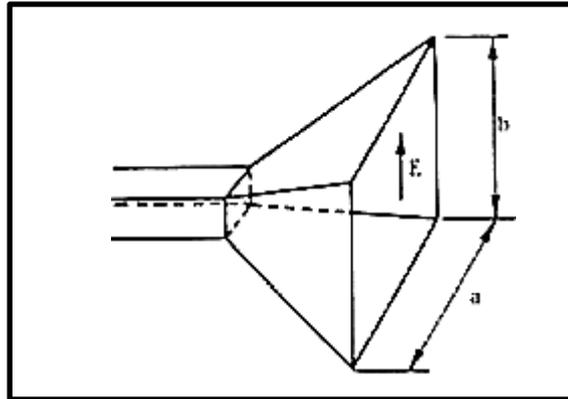


Figure II. 15 : Une antenne cornet

C-Hélices :

Une hélice est une antenne à rayonnement longitudinal qui peut être considérée comme l'alignement d'un nombre n d'antennes élémentaires, constituées par chacune de ses spires.

L'intérêt des hélices est d'avoir un diagramme de rayonnement de révolution autour de OZ (cas des paraboloides de révolution). Leur bande passante est assez élevée. On peut optimiser leurs diagrammes en enroulant les hélices sur des troncs de cône.

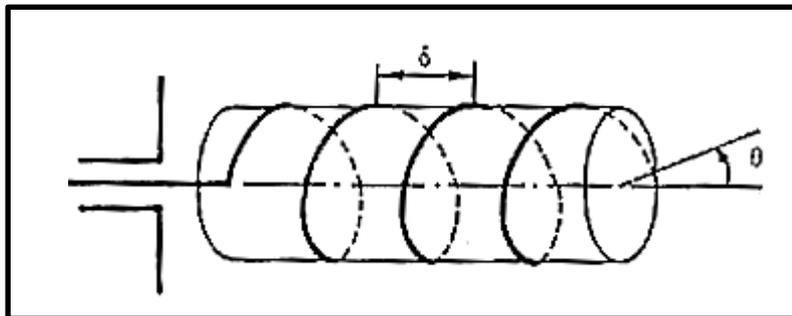


Figure II. 16 : antenne à hélice axiale

II.1.1.4 LE REFLECTEUR

A-Antennes à réflecteurs :

- Paraboloïde de révolution :

On place une source primaire au foyer d'une antenne parabolique. Les rayons réfléchis sont alors parallèles à l'axe de symétrie et réciproquement (figure II.17).

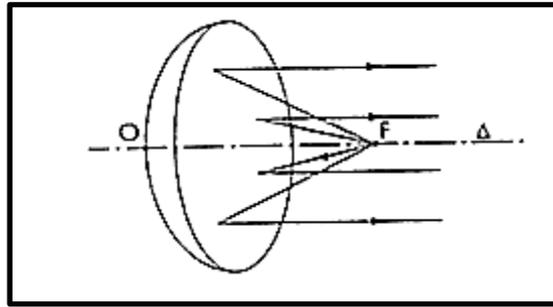


Figure II. 17 : Paraboloïde de révolution

En outre, une défocalisation de la source primaire entraîne une déviation du faisceau sans déformation importante. Cette propriété est utilisée dans les antennes à balayage conique du faisceau où la source primaire S décrit un cercle dans le plan focal du paraboloïde de telle manière que l'axe du faisceau décrive un cône centré sur OF (figure II.18)

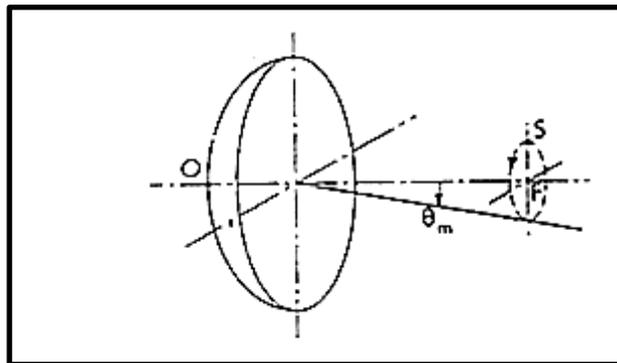


Figure II. 18 : antennes à balayage conique

B-Antennes Cassegrain :

Ce sont des antennes plus compactes et plus pratiques, utilisant plusieurs réflecteurs. Pour leur réalisation, ces antennes peuvent faire appel à des rotations de la polarisation des ondes (figure 19b 19c) et des réflecteurs semi-transparent. Dans l'antenne Cassegrain inversée, l'onde émise en polarisation verticale est d'abord réfléchié par le réflecteur B; le réflecteur plan A la réfléchit à nouveau, mais en rendant sa polarisation horizontale; B transparent pour cette polarisation laisse alors le rayonnement s'effectuer vers l'extérieur. Cette disposition est utilisée pour réaliser des antennes à faibles inertie, seul le réflecteur A étant alors mobile, pour une rotation α du réflecteur A, le faisceau est défléchi de 2α .

Les performances de ces antennes sont similaires à celles des paraboloïdes.



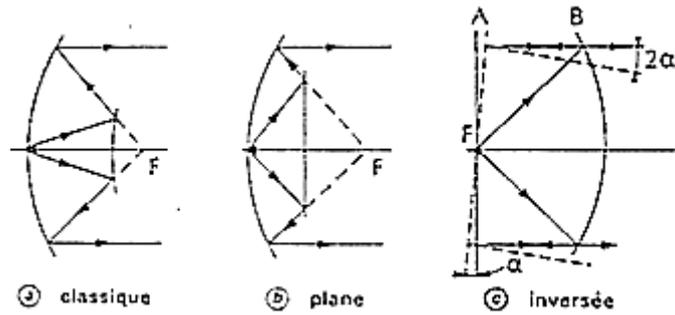


Figure II. 19 Antennes Cassegrain

C-Antennes à balayage électronique :

Afin d'augmenter la directivité du réseau obtenu par association de sources élémentaires, on oriente le plan d'onde en effectuant un déphasage entre les sources qui correspond au trajet de l'onde entre la source et le *plan d'onde*, perpendiculaire à la direction de propagation θ (figure II.20). On forme une antenne qui reçoit (ou émet) de façon privilégiée les signaux provenant de la direction θ .

Ce dispositif permet:

- de changer quasi instantanément la direction analysée par le radar (en changeant le déphasage de chaque antenne élémentaire)
- de changer rapidement la forme du faisceau rayonné (fin, large...) et donc d'obtenir un radar multifonctions
- de pouvoir, s'il y a un grand nombre d'éléments sur le réseau, introduire de légères modifications aux déphasages élémentaires afin de réduire le rayonnement parasite dans certaines directions.

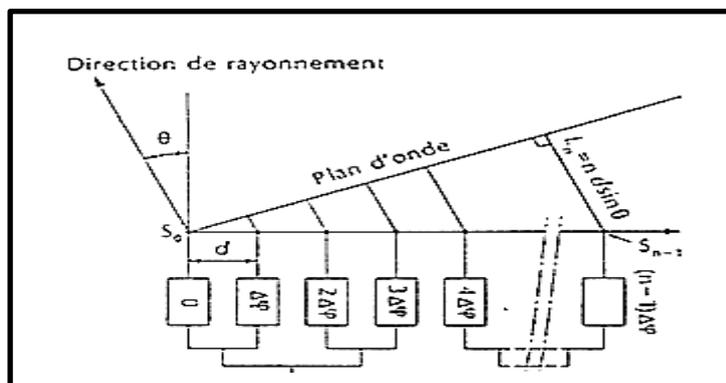


Figure II. 20 Antennes à balayage électronique

II.1.1.5 LE DUPLEXEUR :

Pour éviter toute ambiguïté, précisons que le duplexeur n'est pas un composant de l'antenne, mais un élément bien à part dans le radar.

C'est un aiguilleur électronique permettant, d'une part au signal émis d'être dirigé vers l'antenne avec une perte minimale tout en isolant convenablement le récepteur-qui est fait pour manipuler des puissances extrêmement faibles (inférieurs au pico watt)-et d'autre part au signal reçu d'être totalement dirigé vers le récepteur, sans dérivation vers l'émetteur et avec des pertes minimales.

La complexité des duplexeurs dépend du niveau de puissance du signal émis (10 kW à 10 MW), elle est liée à la limitation des fuites vers le récepteur qui ne peut supporter des signaux supérieurs à 100 mW sans détérioration.

Il existe malgré tous des radars qui disposent de deux antennes, une pour l'émission, l'autre pour la réception : c'est le cas de la plupart des radars dits CW (*continuous wave*) dans lesquels l'émetteur émet en permanence.

II.1.2 L'EMISSION :

II.1.2.1 L'EMETTEUR

L'émetteur lance à intervalles réguliers (par exemple, toutes les millisecondes) des signaux très brefs (par exemple, 1 microseconde de durée), à une fréquence donnée. Il transforme donc l'énergie électrique fournie par le modulateur et les sources d'alimentation en énergie radioélectrique à très haute fréquence. Sa partie active est le tube d'émission dans lequel est engendrée l'impulsion hyperfréquence à la fréquence et la puissance désirées.

On peut classer les émetteurs de radar en deux grandes catégories :

- les *émetteurs oscillateurs de puissance*, dans lesquels l'énergie est directement obtenue par mise en oscillation du tube de puissance.
- les *émetteurs à chaîne d'amplification*, dans lesquels le signal à émettre est progressivement porté à la puissance convenable, par amplification dans *un* ou *plusieurs* étages.

(Les seconds sont évidemment les plus souples du point de vue possibilité de codage du signal, et également les plus stables.)

On distinguera deux grandes parties dans un émetteur :

- le *tube de puissance*, élément hyperfréquence de l'émetteur délivrant le signal à émettre avec les qualités désirées de puissance, durée, fréquence, stabilité, etc...
- le *modulateur*, élément de commande (et de régulation) du tube de puissance, transposant le signal de synchronisation en un signal de commande accessible au tube hyperfréquence, et lui délivrant l'énergie nécessaire.

II.1.2.2 LE MODULATEUR

Le modulateur constitue la partie active de l'émetteur. Ce sont les dispositifs grâce auxquels les tubes d'émission radar peuvent fonctionner en impulsion. A partir de la synchronisation, ces dispositifs doivent être aptes à délivrer les tensions d'alimentation et de commande des tubes pendant la durée des impulsions émises, et ceci avec les courants convenables.

Dans les étages moyens puissance des chaînes d'amplification, le modulateur fournit simplement un signal de commutation. Il joue uniquement le rôle d'interrupteur, l'énergie nécessaire à l'amplification étant fournie par ailleurs.

Par contre, dans les étages très haute puissance, le rôle du modulateur est double. il sert à la fois de réservoir d'énergie et de commutation de puissance.

Les puissances de crête délivrées par le modulateur sont très importantes; il y correspond des courants de plusieurs dizaines d'ampères sous des tensions de plusieurs dizaines de milliers de volts.

La qualité des signaux délivrés par le modulateur doit être très soignée pour permettre d'éviter des effets parasites sur le signal émis.

II.1.3 LA RECEPTION :

Elément le plus complexe du radar, il doit traiter et amplifier le signal radar. Sa sensibilité doit être très grande (jusqu' à 10-15 W). Il amplifie les signaux dans de très grandes proportions (10¹⁰ à 10¹⁴) et doit donc le faire sans déformation du signal. Le récepteur doit en outre

effectuer le filtrage du signal et tous les autres traitements adaptés à l'information à obtenir (vitesse, position angulaire...). Sa réalisation doit être particulièrement soignée pour réduire le plus possible les perturbations dues au bruit qui accompagne le signal radar (dont une partie au moins prend naissance dans les circuits de réception).

Les récepteurs radar possèdent tout ou partie des éléments caractéristiques suivants :

-**Amplificateurs hyperfréquences**, ils permettent de fixer les caractéristiques de bruit interne du récepteur.

-**Changeur de fréquence ou mélangeur**, ils permettent de séparer la chaîne d'amplification en plusieurs étages travaillant sur des fréquences porteuses différentes (de façon à obtenir de grands gains sans couplage des chaînes haut niveau aux étages bas niveau. Cet agencement est connu sous le nom de réception superhétérodyne.

-**Amplificateur moyenne fréquence**, qui constitue les différents étages d'amplification avant détection du signal, les derniers étages remplissent en outre une fonction de filtrage.

-**Amplificateur vidéofréquence**, qui après détection, amènent le signal à un niveau suffisant pour les traitements dans les étages terminaux (visualisation, extraction...).

-**Les détecteurs** qui opèrent le passage du signal moyenne fréquence au signal vidéofréquence et sont, suivant les cas, détecteurs d'amplitude, détecteurs de phase ou détecteurs amplitude phase (et que l'on classe également en détecteurs non cohérents et détecteurs cohérents).

-**Les oscillateurs** qui fournissent les fréquences de référence nécessaires aux différentes fonctions de changement de fréquence et de détection cohérente.

Plus simplement, le récepteur effectue d'abord le mélange de l'onde reçue avec une onde dite locale, de façon à ce que l'onde reçue soit ramenée à une fréquence plus basse et plus commode (fréquence intermédiaire, ou **FI**). (On parle de réception superhétérodyne). Puis on procède à la fois à un filtrage (pour ne conserver que les fréquences utiles) et à une amplification car les signaux reçus sont de faible niveau. Ensuite, on peut effectuer les autres traitements adaptés à l'information à obtenir (traitement Doppler, position angulaire...).

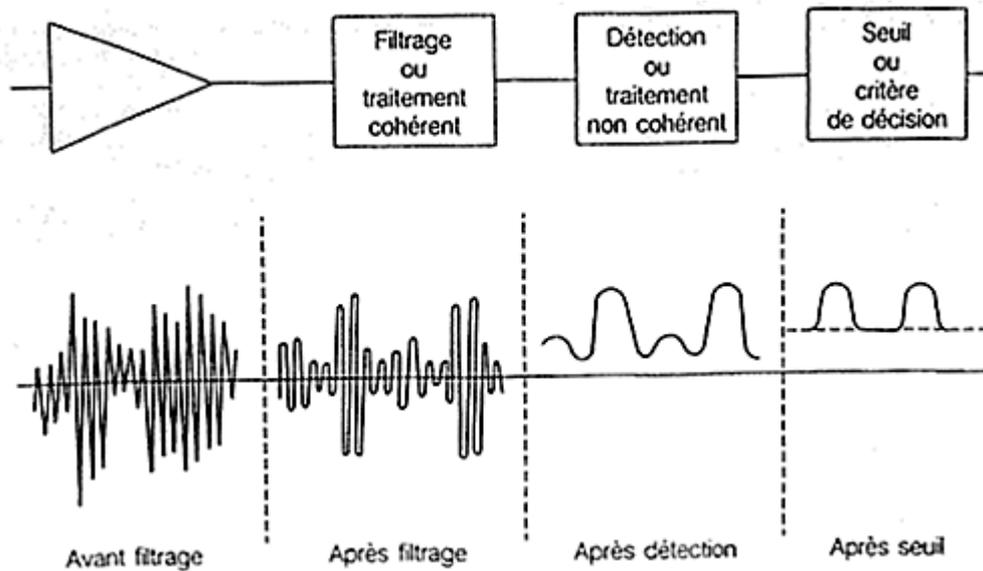


Figure II. 21 : chaine type de réception

II.1.4 EXPLOITATION

L'exploitation de l'information doit être adaptée à ce mode d'exploration de l'espace. Le procédé le plus direct est la visualisation du signal radar sur un **scope PPI** (Plane-Panoramic-Indicator). Le scope PPI utilise un tube cathodique classique, dans lequel le faisceau d'électrons est dévié du centre de l'écran vers la périphérie, de telle manière que son point d'impact sur la couche sensible du tube soit représentatif de la zone d'espace observée.

L'image obtenue est une projection plane des échos détectés par le radar. Toute cible ponctuelle apparaît sur le scope comme une tâche d'une certaine surface constituant le plot radar. En plus des objets ponctuels, sont visualisés des plots de surface étendue dus aux échos du sol, de nuage, de pluie, et à certaines réflexions parasites. La situation globale présentée à l'opérateur dépendra donc de l'environnement du radar et des conditions météorologiques.

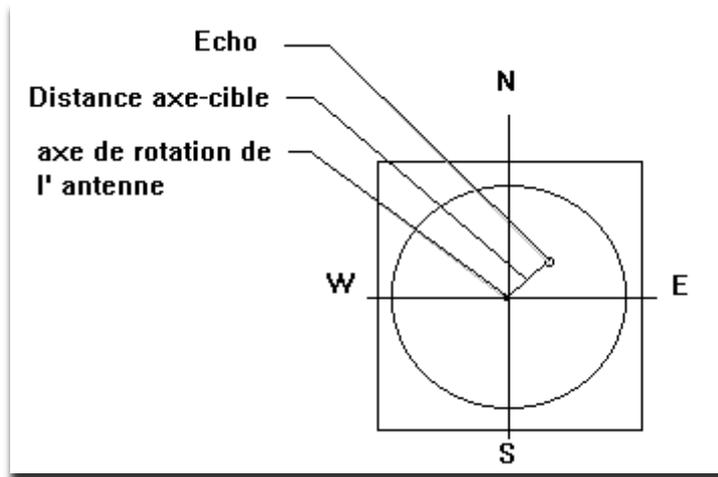


Figure II. 22 Projection plane d'écho détecté par un radar.

II.1.5 SYNCHRONISATEUR :

Cœur du système radar, il a la charge de délivrer les signaux de base qui définissent les instants d'émission, et divers signaux annexes nécessaires aux opérations en temps réel. Son élément de base est une horloge de grande stabilité à partir de laquelle sont engendrés les signaux de synchronisation. Ces signaux sont distribués aux différents éléments à piloter. Leur distribution doit être assurée avec une très grande reproductibilité sur chaque voie, de manière à ne pas fausser les mesures effectuées

II.2 La simulation du radar sur Matlab :

II.2.1 Paramétrages des différents blocs :

II.2.1.1 Générateur d'impulsion

A l'aide d'une fonction Matlab, on a généré des impulsions rectangulaires.

```

1  function x = waveform_rect()
2
3  -   persistent hwav
4
5  -   if isempty(hwav)
6  -       hwav = phased.RectangularWaveform(...
7  -           'PulseWidth',1/3e6,...
8  -           'PRF',3e4,...
9  -           'SampleRate',6e6,...
10 -           'OutputFormat','Samples',...
11 -           'NumSamples',1);
12 -   end
13
14 -   x = step(hwav);

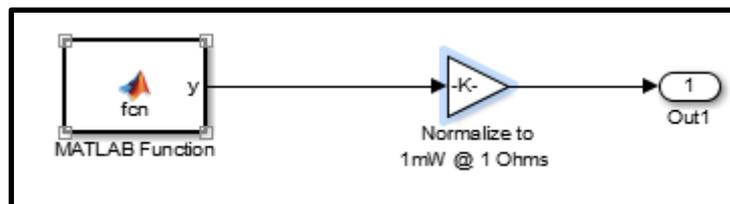
```

```

1  function y = fcn()
2  -   %#codegen
3
4  -   y = waveform_rect();

```

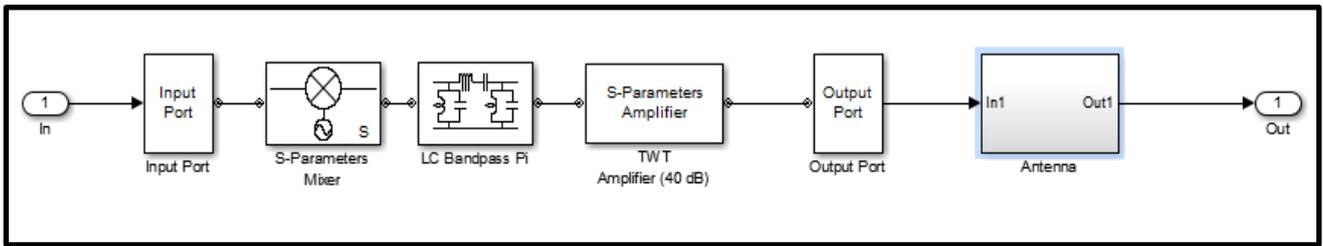
Le block 'MATLAB function' de simulink nous a permis d'utiliser la fonction de génération d'impulsion dans le modèle simulink.



Le deuxième élément dans la figure ci-dessus est un Gain block qui multiplie le signal entré par une valeur constante (le gain), alors que le troisième élément est un 'output block' (block de sortie).

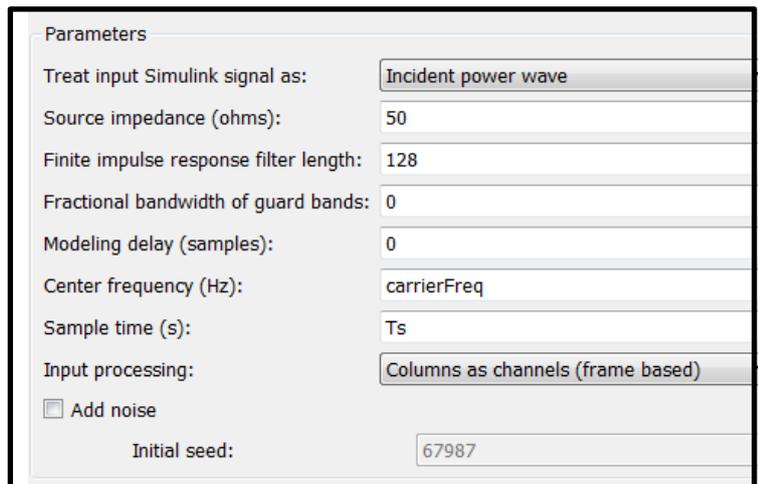
II.2.1.2 L'étage RF (Radio Fréquence) :

C'est la phase à partir de laquelle le signal radar sera amplifié et émis, l'étage RF se constitue de plusieurs blocs comme le montre la figure ci-dessous :



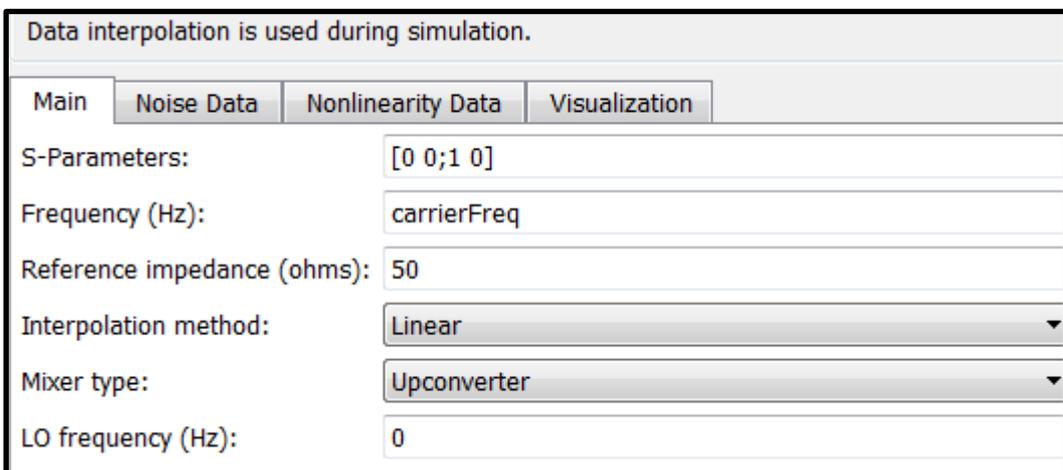
○ **The input port :**

C'est un connecteur qui nous permet de fournir les paramètres de données nécessaire pour calculer les fréquences modulées et la bande passante équivalente, ainsi que la spécification de l'information de l'interprétation du signal simulink entré.



○ **S-Parameter Mixer :**

Ce bloc définit la fréquence-dépendante, les données de bruits et les données de la non-linéarité.



Main	Noise Data	Nonlinearity Data	Visualization
Phase noise frequency offset (Hz):	[0.1 1 10 100]*1e3		
Phase noise level (dBc/Hz):	[-70 -120 -140 -150]		
Noise type:	Noise figure		
Noise figure (dB):	0		
Minimum noise figure (dB):	0		
Optimal reflection coefficient:	1		
Equivalent normalized noise resistance:	1		
Noise factor:	1		
Noise temperature (K):	0		
Frequency (Hz):	2.0e9		

Main	Noise Data	Nonlinearity Data	Visualization
IP3 type:	OIP3		
IP3 (dBm):	inf		
1dB gain compression power (dBm):	inf		
Output saturation power (dBm):	inf		
Gain compression at saturation (dB):	0		
Frequency (Hz):	2.0e9		

- **LC Bandpass pi :**

Il définit les différents paramètres de capacités et inductances utilisées.

Main Visualization

Inductance (H): [1.4446e-9 4.3949e-8 1.4446e-9]*.32

Capacitance (F): [3.5785e-11 1.1762e-12 3.5785e-11]*.32

OK Cancel Help Apply

Main Visualization

Source of frequency data: User-specified

Frequency data (Hz): [1000e6:4e6:3000e6]

Reference impedance (ohms): 50

Plot type: X-Y plane

Y parameter1: S21 Y format1: Magnitude (decibels)

Y parameter2: Y format2:

X parameter: Freq X format: Hz

Y scale: Linear X scale: Linear

Plot

OK Cancel Help Apply

- **TWT Amplifier :**

L'amplificateur RF est défini la fréquence-dépendante, les données de bruits et les données de la non-linéarité.

Main	Noise Data	Nonlinearity Data	Visualization
S-Parameters:		[0,0;sqrt(10000),0]	
Frequency (Hz):		carrierFreq	
Reference impedance (ohms):		50	
Interpolation method:		Linear	

Main	Noise Data	Nonlinearity Data	Visualization
Noise type:		Noise figure	
Noise figure (dB):		8	
Minimum noise figure (dB):		0	
Optimal reflection coefficient:		1	
Equivalent normalized noise resistance:		1	
Noise factor:		1	
Noise temperature (K):		0	
Frequency (Hz):		2.0e9	

Main	Noise Data	Nonlinearity Data	Visualization
IP3 type:		OIP3	
IP3 (dBm):		50	
1dB gain compression power (dBm):		inf	
Output saturation power (dBm):		inf	
Gain compression at saturation (dB):		0	
Frequency (Hz):		2.0e9	

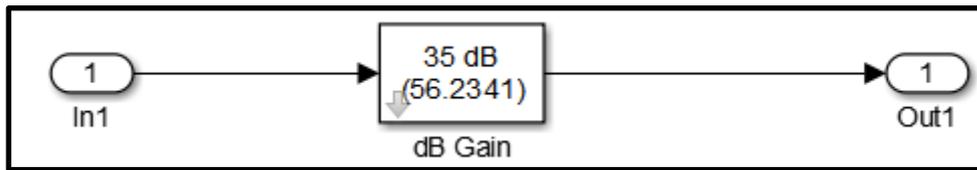
○ **Output port :**

Le bloc output port produit la bande passante équivalente au domaine tempore de la réponse d'un signal traversant une série de composants d'un étage RF.

Main	Visualization
Load impedance (ohms): 50	

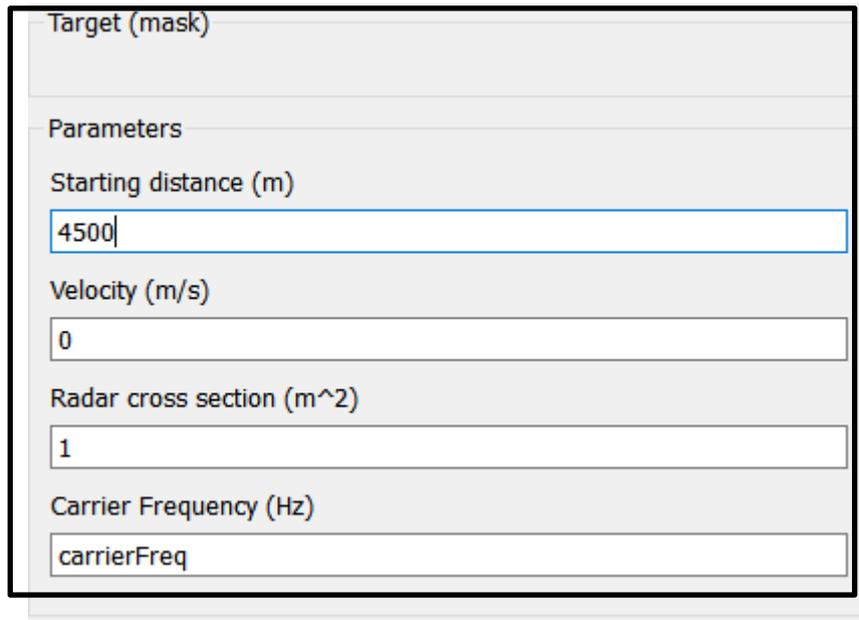
○ **L'antenne :**

Elle est caractérisée par un gain de 35 db.



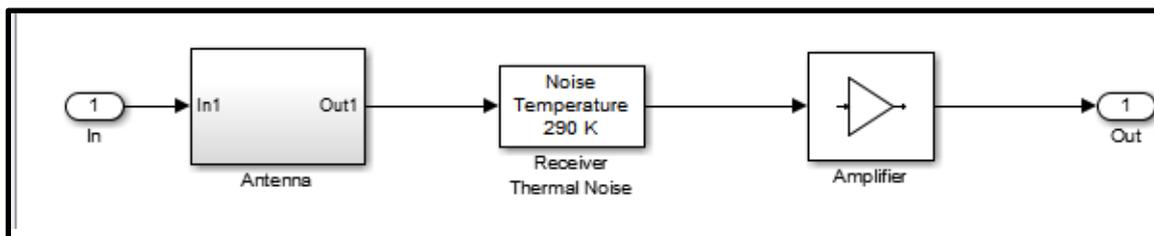
II.2.1.3 La cible (target) :

C'est un objet représenté par un bloc et caractérisé par quelques paramètres :



II.2.1.4 L'étage de réception :

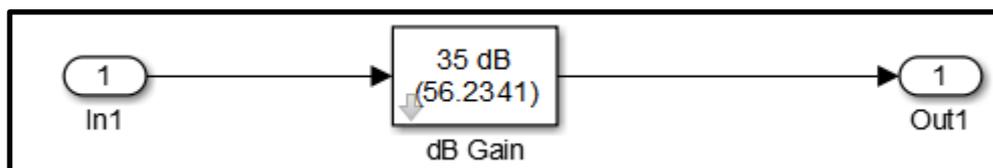
Représenté par le schéma suivant :



Et composé par :

- **Une antenne :**

De gain de 35 db.



○ **Récepteur du bruit thermique (Receiver thermal noise) :**

Ce bloc simule les effets du bruit thermique dans une bande passante d'un signal complexe. Et voici les paramètres de ce bloc.

Parameters	
Specification method:	Noise temperature
Noise temperature (K):	290
Initial seed:	67987

○ **L'Amplificateur :**

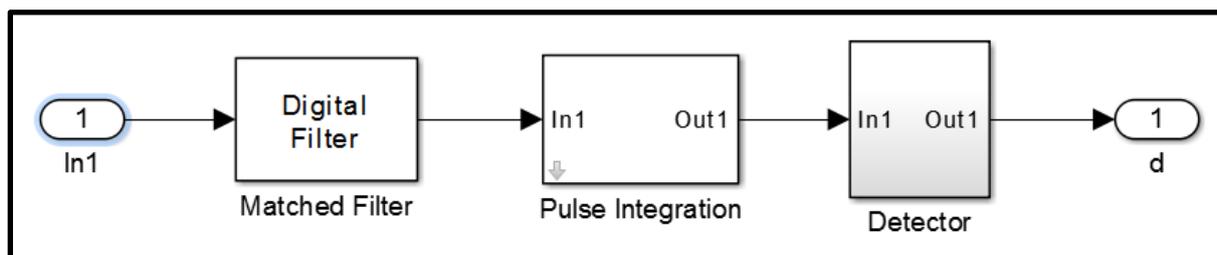
Ce bloc génère une bande passante complexe d'un amplificateur avec un bruit thermique, il fournit plusieurs méthodes pour représenter la non-linéarité et le bruit.

Parameters	
Method:	Linear
Linear gain (dB):	30
Specification method:	Noise figure
Noise figure (dB):	6.3
Initial seed:	67987

II.2.1.5 L'étage de détection :

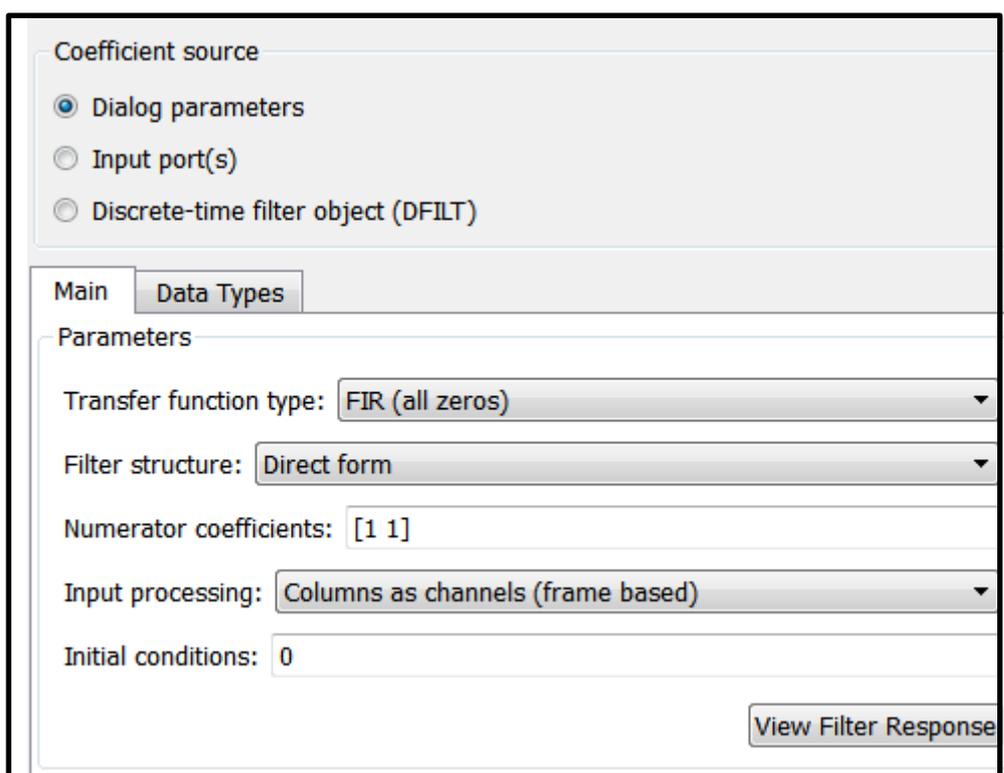
Cette phase consiste à effectuer quelques opérations permettant de traiter le signal en éliminant les bruits afin de calculer la distance de la cible.

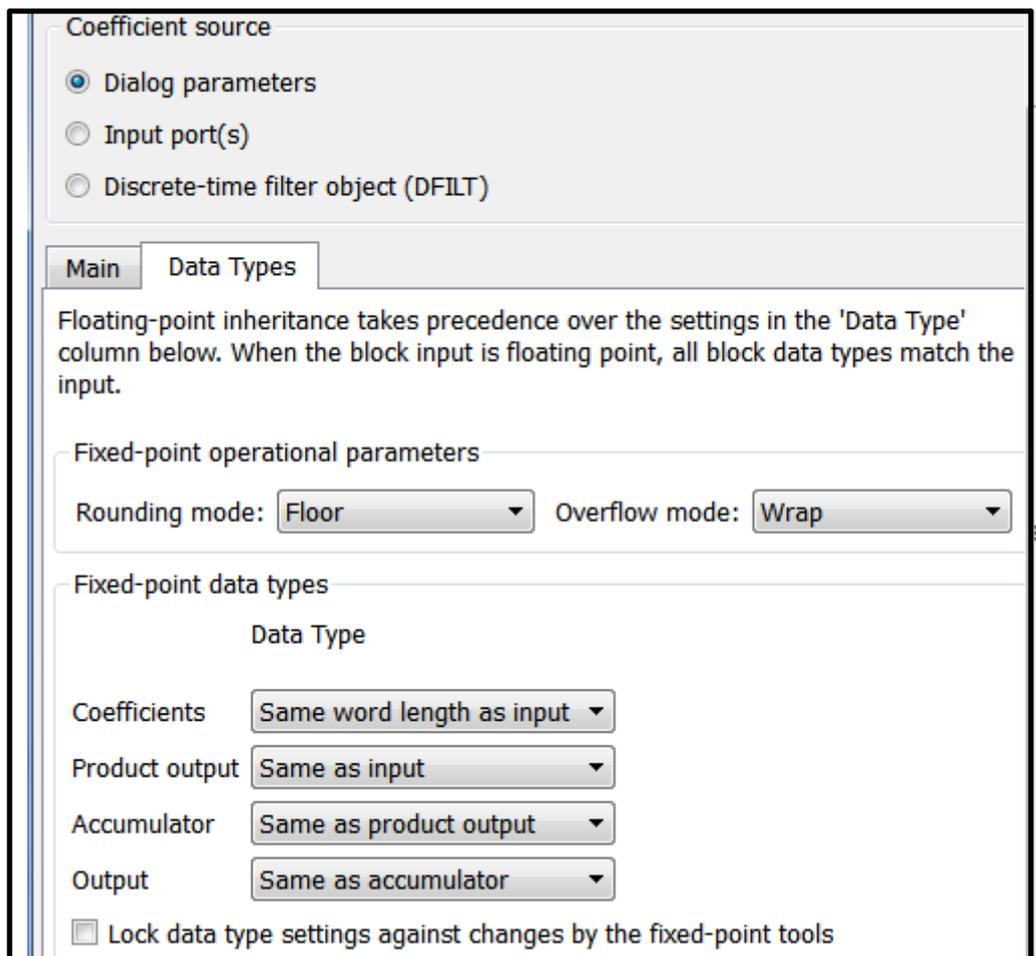
Cette procédure serait complétée en passant par trois éléments :



○ **Filtre numérique (digital filter) :**

On peut utiliser un bloc de 'digital filter' pour la mise en place efficace d'un point flottant ou fixe d'un filtre de coefficient définis.



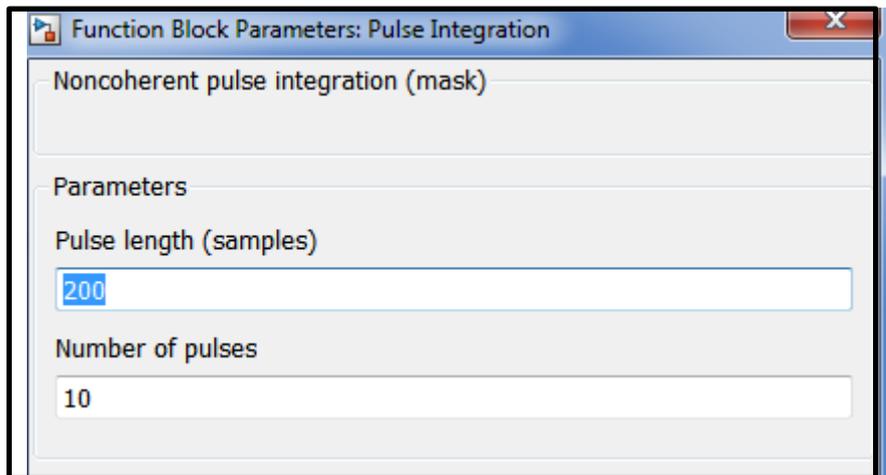


o **L'intégration d'impulsion (pulse integration) :**

C'est un intégrateur non-cohérent

Si 'n' impulsions sont parfaitement intégrées par le détecteur cohérent, le rapport signal/bruit est exactement multiplié par n. Soit (S/N) 1, le rapport signal/ bruit nécessaire pour obtenir la même Pd lorsque n impulsions sont intégrées parfaitement, on a:

$$(S/N)_n = (S/N)_{1/n}$$



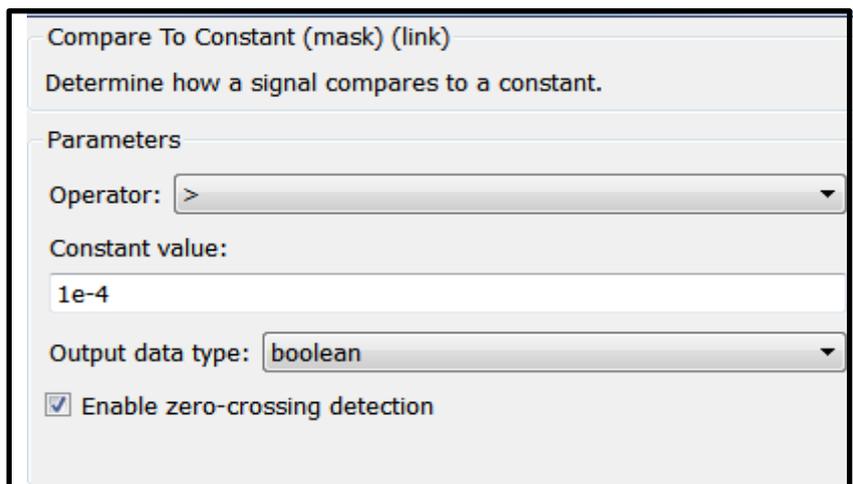
○ **Le détecteur :**

La détection radar consiste à prendre des décisions concernant la présence ou non d'une cible dans un volume d'espace donné à un instant donné.

Dans notre simulation le détecteur est représenté par le circuit ci-dessous :

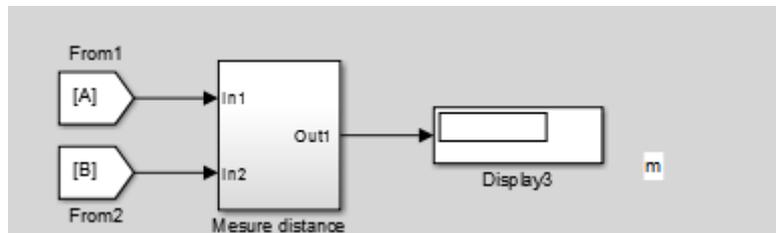


Le bloc 'Threshold' sert à comparer le signal entré à une constante.



II.2.1.6 Un compteur :

Pour l'affichage des résultats en chiffre, nous avons mis en place un compteur permettant d'extraire les valeurs de distance à partir de la représentation graphique des impulsions émises d'une part, et celles reçues de l'autre part.



II.2.1.7 Autres éléments :

- **Amplitude de signal (signal amplitude) :**

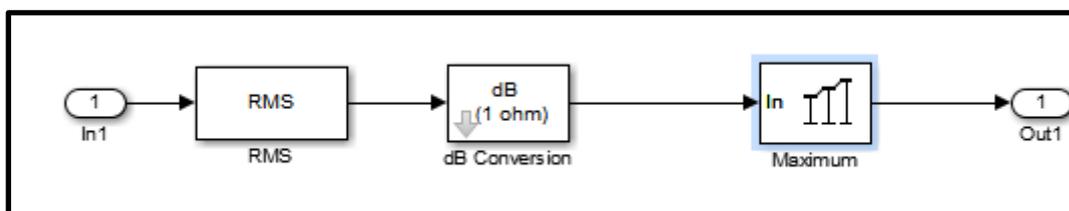
Nous avons utilisé 3 blocs caractérisant l'amplitude du signal à :

L'entrée de l'étage RF.

La sortie de l'étage RF.

L'entrée de l'étage de réception.

Chacun de ces trois blocs 'signal amplitude' est composé de les éléments suivants :



- **Le RMS (root mean square) :**

Cet élément sert à calculer la racine carrée du signal entré .

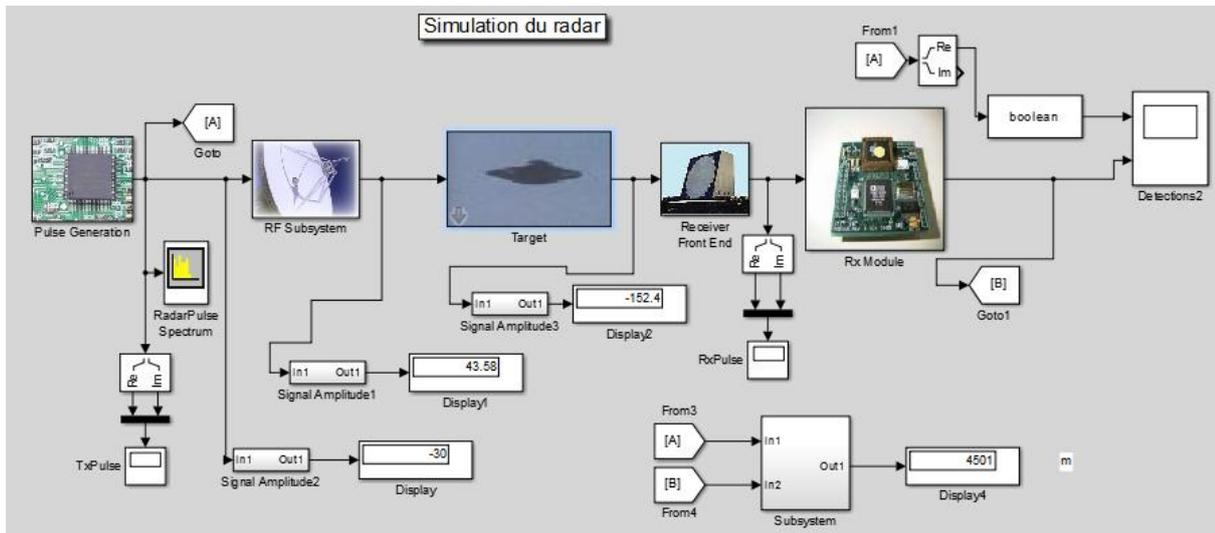
- **Convertisseur en dB (dB conversion) :**

Permet de convertir le signal entré(en watt ou an volt) en dB.

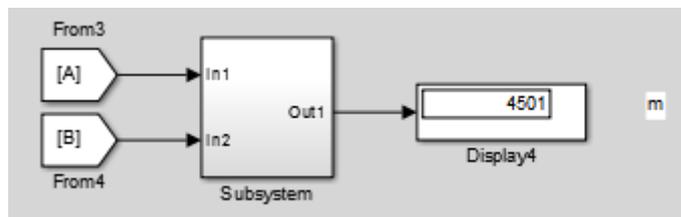
- **Maximum :**

Permet d'évaluer la valeur maximale du signal entré le long d'une dimension temporelle spécifiée.

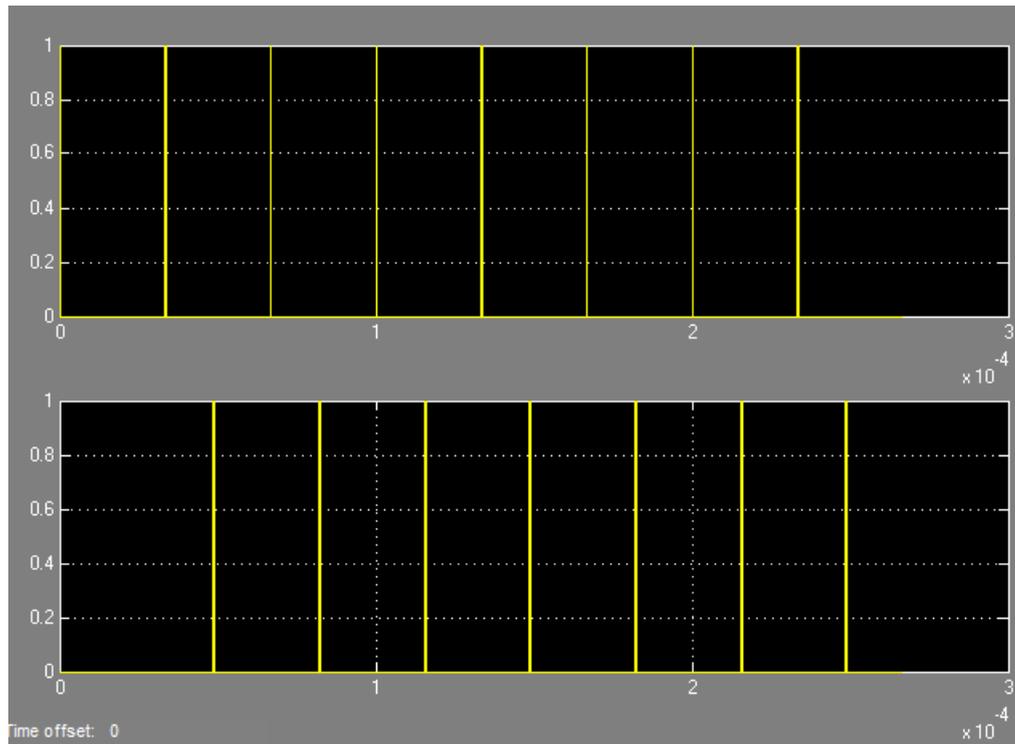
II.2.2 L'exécution du simulateur :



- **L'affichage de résultat en mètre :**



- **Les impulsions à l'émission et à la réception (après le traitement) :**



II.2.3 Conclusion :

L'exécution du simulateur nous a montré les différents étapes du fonctionnement d'un radar afin d'afficher le résultat attendu. La distance calculée par le radar est égale à la distance donnée comme paramètre initial avec une incertitude de 5 mètres.

III CHAPITRE III :

LA REALISATION DU RADAR

III.1 L'ETUDE THEORIQUE DE DES DIFFERENTS ETAGES DU CIRCUIT BASSE FREQUENCE.

III.1.1 INTRODUCTION :

En se basant sur le principe des RADAR ; cette partie du chapitre II sera consacré à la description du circuit électrique à basse fréquence du radar à réaliser. Ce dernier est divisé en deux parties : La partie émission et la partie réception.

III.1.2 Schéma principale :

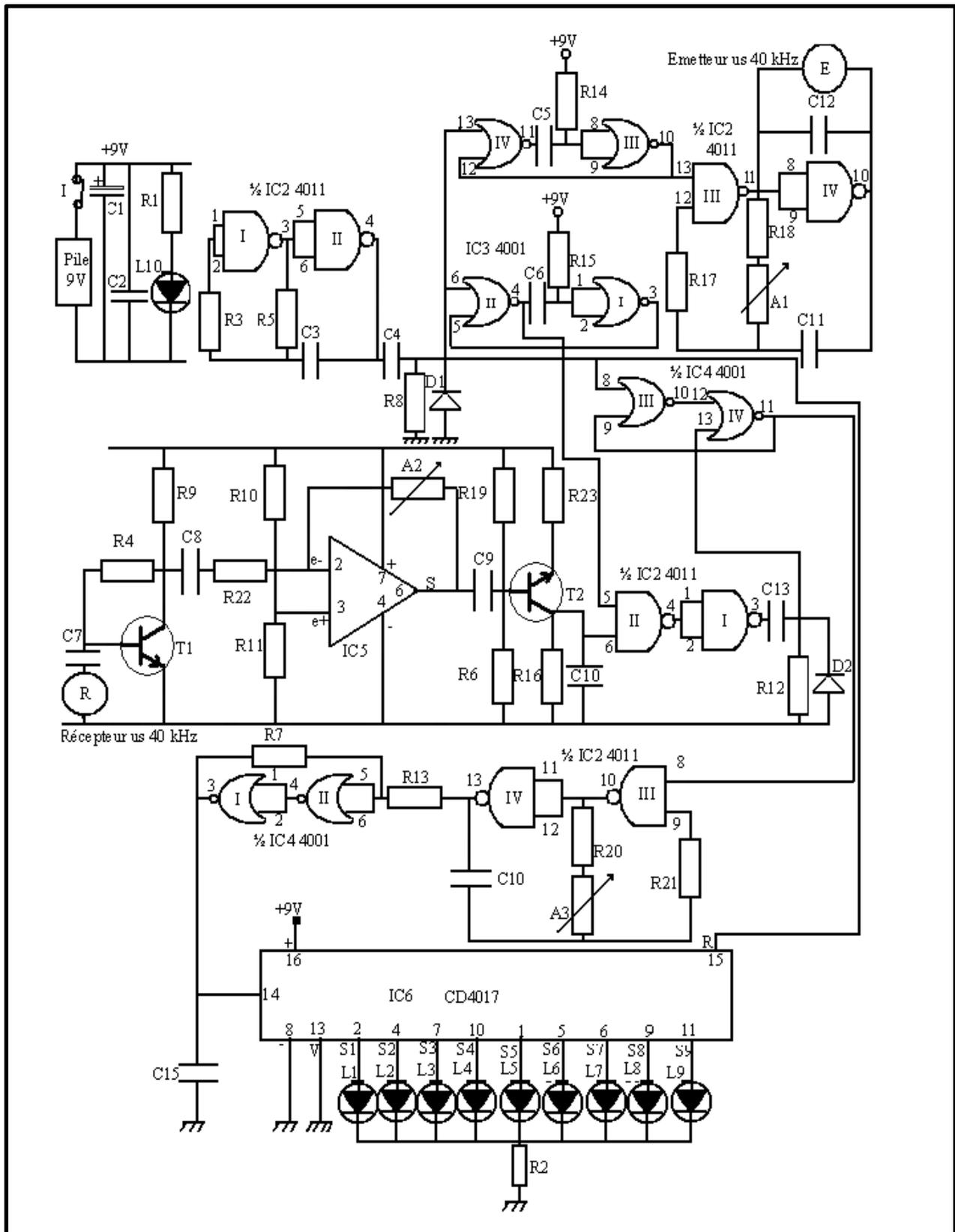


Figure II. 23 schémas du circuit basse fréquence

III.1.3 La paire de transducteurs:

Les composants les plus importants et les plus incontournables pour la réalisation de notre projet sont les deux transducteurs piézoélectriques. En effet, c'est cette paire de transducteurs qui nous a permis de transformer de l'énergie électrique en énergie sonore (pour le transducteur émetteur) et de convertir le signal sonore reçu en un signal électrique utile.

Puisque tout le montage doit être construit autour de ces composants et va dépendre de leur fonctionnement, nous avons jugé nécessaire de procéder à une étude expérimentale de la paire émetteur/récepteur, plutôt que de nous baser uniquement sur les données du constructeur qui peuvent s'avérer légèrement approximatives lorsqu'on passe d'une paire de transducteurs à une autre [5] .

L'objectif principal de cette étude a évidemment été de déterminer leur fréquence de résonance, c'est à dire la fréquence avec laquelle on doit alimenter le transducteur émetteur.

En conclusion, nous utiliserons une fréquence de 40 kHz pour l'alimentation de l'émetteur. En outre, la paire de transducteurs est très sélective. Ainsi lorsqu'on alimente l'émetteur avec un signal carré seul le fondamental peut être reçu en sortie du récepteur. La partie suivante va donc s'attacher à expliquer comment générer le signal de 40kHz qui va alimenter l'émetteur.

III.1.4 Partie émission :

III.1.4.1 Générateur de basse fréquence :

Il permet de générer un signal carré périodique de basse fréquence.

On peut calculer la période de ce signal (donc la fréquence), pour cela on va décrire le fonctionnement général des bascules (astable).

L'astable peut être assimilé à un oscillateur utilisant 2 portes NAND (idem avec 2 portes NON) qui produit un signal périodique.

- **La bascule astable (ou multivibrateur ou oscillateur) :**

Remarque: la résistance de 1Mohm est nécessaire pour supprimer les effets des protections par diodes présentes dans les étages d'entrée des portes logiques.

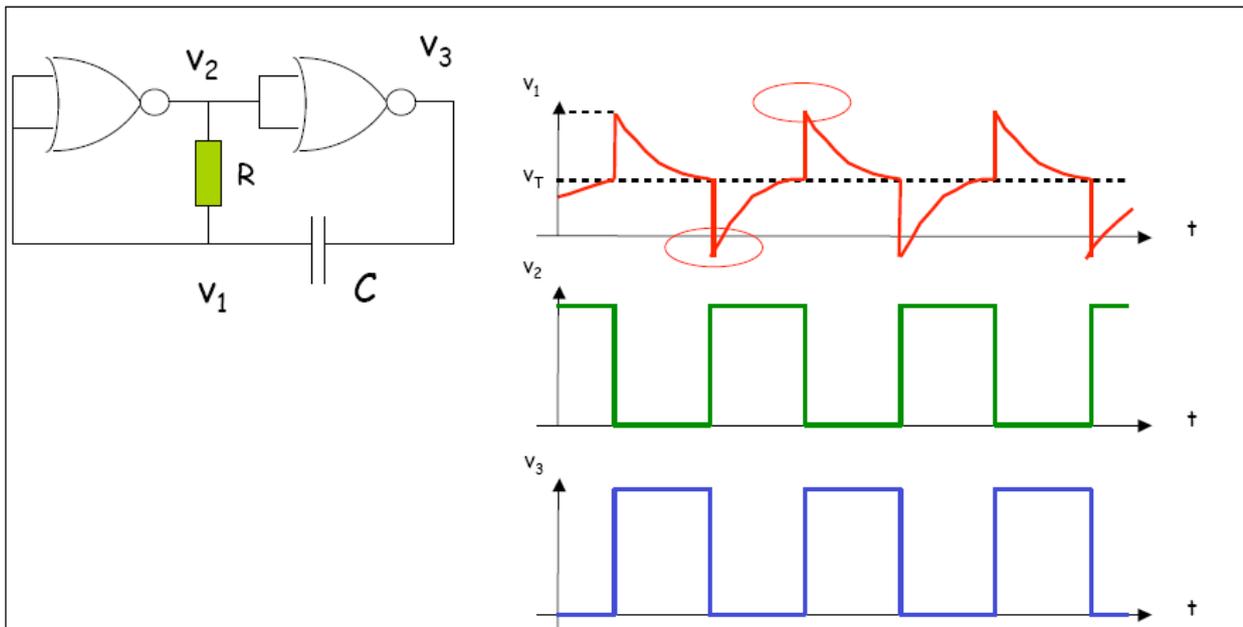


Figure II. 24 : l'astable et les signaux en différentes pointes

Cette bascule est totalement instable (astable).

On démontre aisément que via R, la capacité C ne cesse de se charger ou de se décharger.

Supposons qu'au moment de démarrer notre analyse:

$$v_1 < V_{CC}/2, v_2 = V_{CC} \text{ et } v_3 = 0V$$

La capacité se charge via R ($v_2 > v_1$)

La tension v_1 monte donc jusqu'à $V_{CC}/2$.

Dès que $v_1 = V_{CC}/2$, v_2 bascule à 0V et v_3 bascule à V_{CC} .

v_1 est à l'état "1" (V_{CC} ou $3/2V_{CC}$?).

Dans le nouvel état, $v_2 < v_1$, la capacité va donc se décharger via R.

La tension v_1 diminue donc jusqu'à $V_{CC}/2$.

Dès que $v_1 = V_{CC}/2$, v_2 bascule à V_{CC} et v_3 bascule à 0V.

v_1 est à l'état "0" (0V ou $-1/2V_{CC}$?).

Calcul de la période T

T1 : charge de C de $V_{CC}/3$ vers V_{CC} à travers R: $v = V_{CC} (1 - e^{-t/[R]C}) + V_{CC}/2$

Avec $t = T1$ pour $v = V_{CC}$

$$V_{CC} = V_{CC}/2 + V_{CC} (1 - e^{-T1/[R]C})$$

$$e^{-T1/[R]C} = 1/2 \quad \text{Avec } \mathbf{T1 = R.C.ln 2 = 0,69 R C}$$

T2 : décharge de C de $2 V_{CC}/3$ vers 0V à travers R : $v = 2.V_{CC}/3 (e^{-t/RC})$

$$\text{Avec } t = T2 \text{ pour } v = V_{CC}/2 \quad \mathbf{T2 = R. C. Ln 2 = 0,69. R. C}$$

$$T1 + T2 = 0,69. 2R. C$$

Les temps T1 et T2 s'obtiennent à partir de la loi générale.

On extrait T1 à partir de la loi générale où les valeurs particulières sont connues:

$$V_C(0) = 1/3 V_{CC}$$

$$V_C(\infty) = V_{CC}$$

$$\text{Et } V_C(T1) = 2/3 V_{CC}$$

On extrait T2 à partir de la loi générale où les valeurs particulières sont connues:

$$V_C(0) = 2/3 V_{CC}$$

$$V_C(\infty) = 0V$$

$$\text{Et } V_C(T2) = 1/3 V_C$$

La période complète correspond à $T1 + T2$

III.1.4.2 Circuit de mise en forme :

Le signal de sortie de l'astable est généré par le monostable formé par les portes III et IV de IC3 avant de le mettre en forme à travers le dispositif dérivateur constitué par C4, R8 et D1

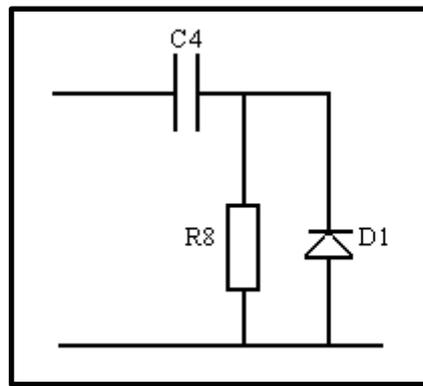


Figure II. 25 : montage d'un Dérivateur

La bascule astable permet de générer des signaux particuliers (carrés, triangles) et les composants RC fixeront les fréquences et les rapports cycliques des signaux produits.

III.1.4.3 Générateur des salves de 40 kHz :

La sortie du dérivateur précèdent attaque l'entrée de monostable formé par les portes III et IV de IC3 qui délivre sur sa sortie des états hauts, ces derniers sont pris en compte par l'oscillateur formé par les portes III et IV de IC1 qui va modifier ce signal et générer des salves de 25 μ s (fréquence de 40kHz) qui va attaquer l'émetteur ultrasonique

III.1.4.4 La bascule monostable :

Un monostable est donc un petit montage destiné à produire un signal d'une durée déterminée (autrement dit: une temporisation) à partir d'une impulsion d'entrée, dite de déclenchement. La durée de ce signal est fixée à l'aide de quelques composants périphériques, en général une résistance (ou un ajustable) et un condensateur.

La bascule monostable est destinée surtout à la temporisation

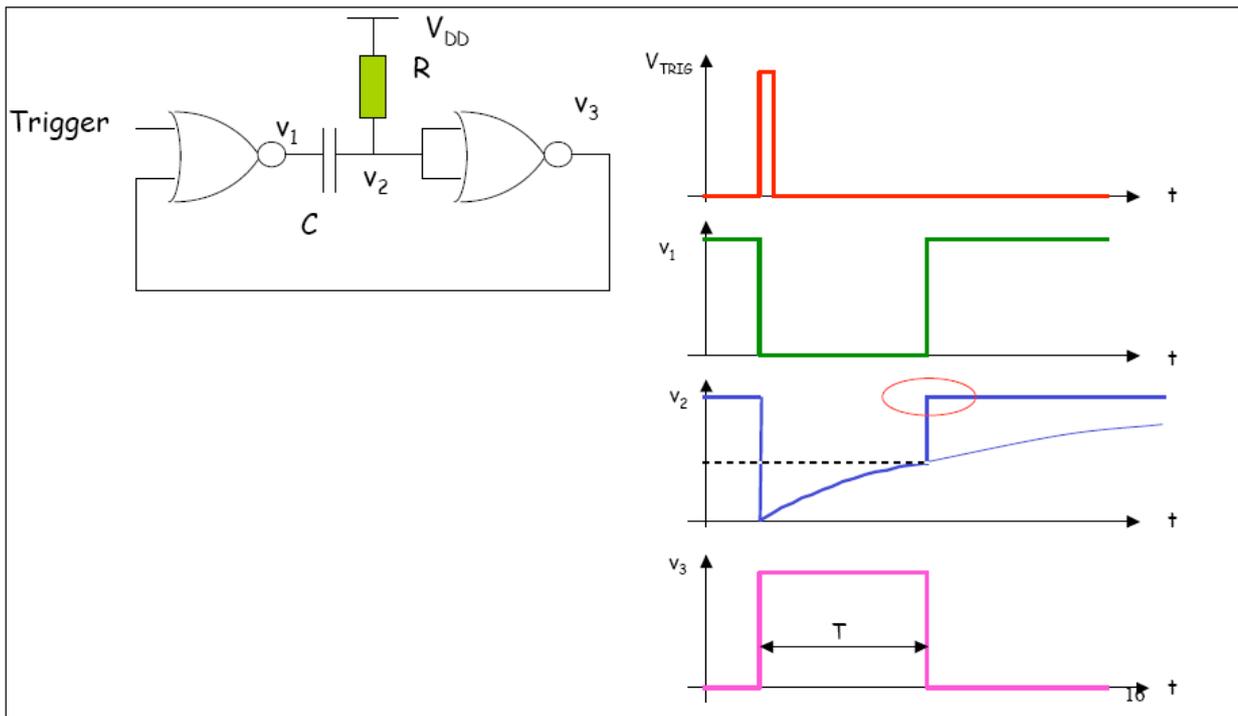


Figure II. 26 La bascule monostable et les signaux en différentes pointes

On se propose de réaliser un monostable avec des portes CMOS (portes NOR exclusivement).

On utilise deux portes NOR que l'on trouve généralement dans un même boîtier (ce qui explique pourquoi une NOR est utilisée pour jouer le rôle d'un inverseur entre v_2 et v_3).

A l'équilibre, le signal Trigger vaut 0V, ce qui donne: $v_2 = V_{DD}$, $v_1 = V_{DD}$ et $v_3 = 0V$.

On démontre par l'absurde que tout autre état est impossible à l'équilibre.

Lorsque V_{trigger} passe à V_{DD} , v_1 bascule à 0V, de même que v_2 (saut indicé sur la capa C) et v_3 passe à V_{DD} .

Puisque v_2 vaut 0 V, on observe donc une différence de potentiel aux bornes de R, ce qui impose un courant qui va charger la capa. La capa se charge jusqu'à $V_{DD}/2$. Comme les portes sont réalisées en techno MOS, lorsque v_2 atteint $V_{DD}/2$, l'inverseur assimile cette tension à un "1". v_3 passe alors à "0".

Le trigger est revenu entre-temps à "0", donc v_1 passe à "1" et v_2 aussi (V_{CC} ou $3/2V_{DD}$). On retrouve l'état d'équilibre au bout d'un temps T

La capacité C se charge suivant la loi : $V = V_{DD} (1 - e^{-t/RC})$

Basculement du comparateur 2 et retour à l'état de repos:

Lorsque $v = 1/2V_{DD}$

A ce moment précis, $t = T$ et on peut donc écrire :

Analyse

T est indépendant de V_{CC} .

$$1/2V_{DD} = V_{DD} (1 - e^{-T/RC}) \text{ d'où } e^{-T/RC} = 1/2$$

$$T = RC \cdot \ln 2 = 0.69 R_A \cdot C$$

III.1.4.5 Convertisseur du signal électrique en un signal ultrasonique :

Les capteurs jouant un rôle très important dans des domaines multiples (physique, électronique, mécanique...), ils ont en effet la mesure de phénomènes de toute nature agissant sur notre environnement et ceci en transformant ces grandeurs physiques en grandeurs électriques.

D'une manière générale, un capteur comprend trois éléments fonctionnels à savoir :

- l'élément sensible qui est, modifié par la grandeur à connaître avec laquelle il est en contact.
- Le transducteur primaire transforme la modification de l'élément en un signal électrique.
- L'adaptateur du signal qui rend le signal électrique utilisable par l'opérateur.

III.1.5 Partie réception :

La mise en forme du signal reçu est réalisée grâce au premier étage (pré-ampli) dans son transistor monté en émetteur commun, ce signal présent sur son collecteur est appliqué d'une part à l'entrée de l'étage suivant fonctionnant comme amplificateur.

Le signal à la sortie de l'amplificateur est appliqué au démodulateur pour le traitement.

III.1.5.1 Convertisseur du signal ultrasonique en un signal électrique:

Le premier maillon du circuit de réception est un capteur permettant de réaliser la fonction inverse du capteur d'émission c'est à dire transformé les ondes ultrasonores en un signal électrique.

III.1.5.2 Etage d'amplification :

Le signal reçu (informatif) est faible, il faut donc l'amplifier pour pouvoir le distinguer du bruit parasite, pour cela, on utilise un système constitué des circuits suivants : Pré amplificateur, amplificateur non inverseur à base des AOP et un amplificateur à base du transistor. D'autre part, pour éliminer tous signaux parasites, on filtre le signal amplifié avec un simple pont R-C (voir figure II.27) dont la fréquence de cassure est supérieure ou égal à 40 KHz

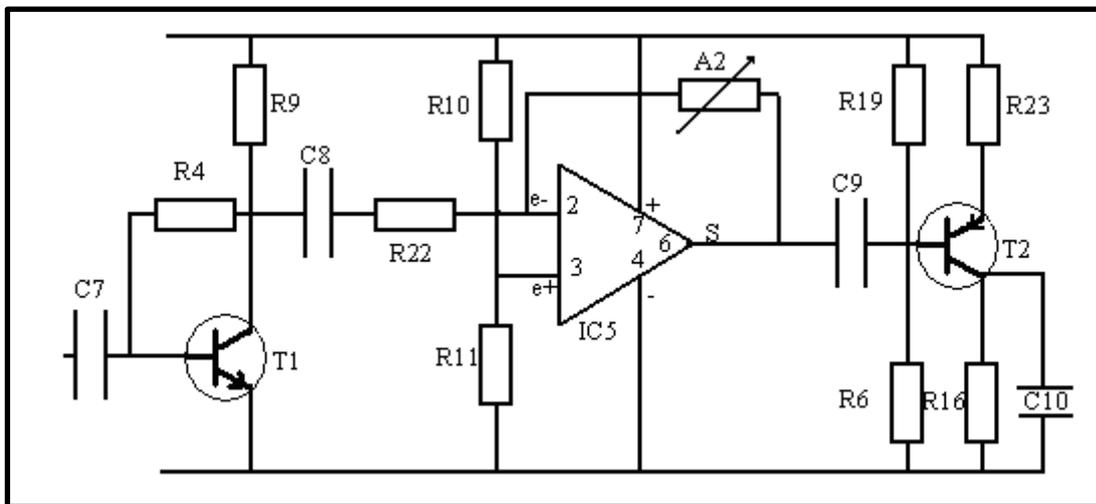


Figure II. 27 Etage d'amplification

- **Préamplificateur:**

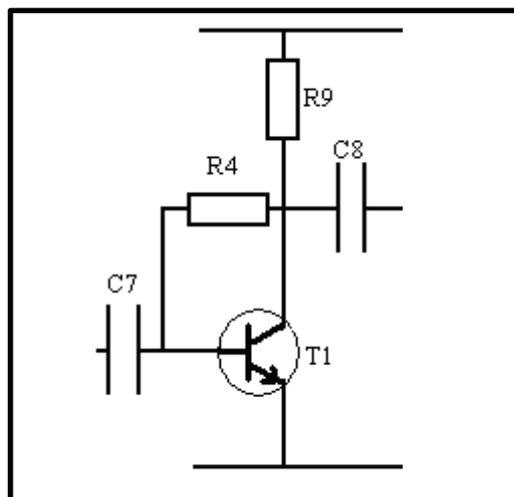


Figure II. 28 : montage Préamplificateur

Ce type est dit polarisation par réaction du collecteur car R4 est branchée au collecteur plutôt qu'à la source d'alimentation.

Ce circuit de polarisation est utilisé pour stabiliser la valeur du gain quand la température augmente.

Soit le schéma équivalent d'un tel circuit :

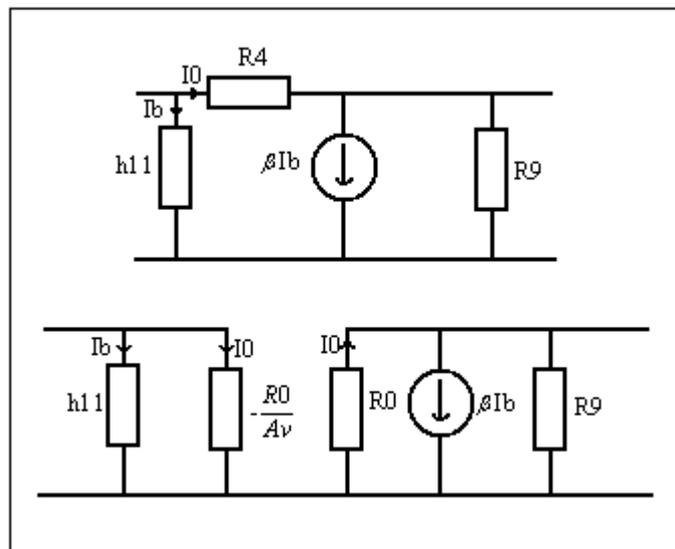


Figure II. 29 : schéma équivalent du montage préamplificateur

Avec : R4 : RB R9 : RC.

Le gain en tension est donné par :

$$A_v = \frac{V_2}{V_1} = -\beta \frac{R_4 // R_9}{h_{11}}$$

Avec : R4 = RB R9 = RC et V1 = h11 . Ib V2 = -\beta Ib . (RC // R0)

L'impédance d'entrée est: $Z_e = h_{11} // \left(-\frac{R_0}{A_v}\right)$.

L'impédance de sortie est: $Z_s = R_4 // R_9$

Le gain en courant sont :

$$\frac{I_c}{I_b} = -A_v \cdot \frac{h_{11}}{R_C}$$

$$\frac{I_c}{I_e} = -A_v \cdot \frac{Z_e}{R_c}$$

- **L'amplificateur non inverseur :**

Un amplificateur opérationnel est un amplificateur à grand gain qui présente les caractéristiques suivantes :

- Un gain en tension très grand.
- Résistance d'entrée très grande. [M Ω]
- Résistance de sortie très faible. [Ω]
- Taux de réjection du mode commun infinie.

Les montages amplificateurs à base d'AOP sont multiples et dépendent de leur utilisation dans différents systèmes

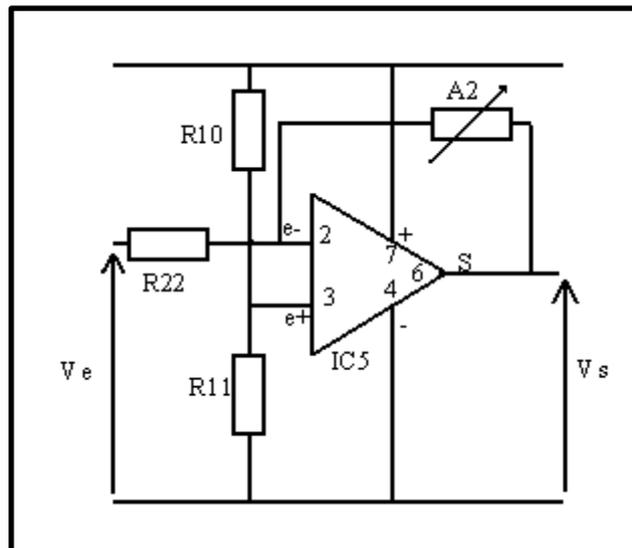


Figure II. 30 : Montage amplificateur non inverseur

On a :

$$e^- = \frac{\frac{v_s}{A2} + \frac{v_e}{R22}}{\frac{1}{A2} + \frac{1}{R22}}$$

$$e^+ = \frac{\frac{v_{cc}}{R10}}{\frac{1}{R10} + \frac{1}{R11}}$$

$$e^- - e^+ = \varepsilon = 0$$

$$\text{Donc : } (R22v_s + A2v_e) (R10 + R11) = (R22 + A2) (R11v_{cc})$$

$$v_s (R22 R10 + R22 R11) + (R10 A2 + A2 R11) = 0$$

$$\frac{v_s}{v_e} = - \frac{A2}{R22}$$

$$V_s = \frac{1 + \frac{A2}{R22}}{1 + \frac{R10}{R11}} v_{cc} - \frac{A2}{R22} v_e$$

D'après la formule déduite, on remarque que le signal d'entrée sera amplifié par un gain

$$G = - \frac{A2}{R22}$$

$$s = \frac{1 + \frac{A2}{R22}}{1 + \frac{R10}{R11}} v_{cc}$$

- **Etude des généralités sur le montage Emetteur Commun**

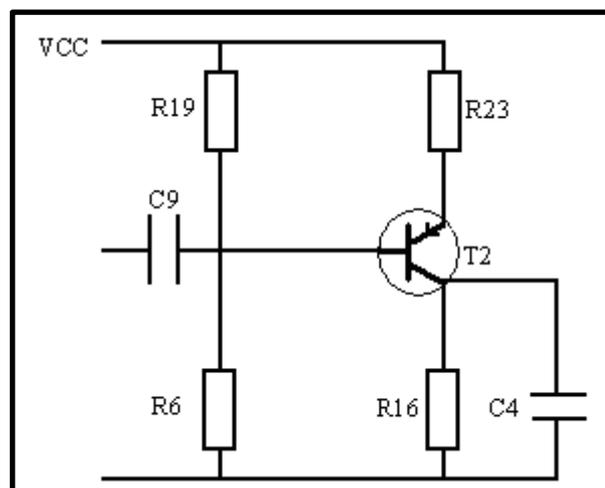


Figure II. 31 : montage émetteur commun

Détermination le gain en tension de l'amplificateur :

On détermine d'abord r_e (r_e : est la résistance interne de l'émetteur du transistor)

pour cela, il faut trouver I_E .donc ;

$$V_B = \left(\frac{R6}{R6 + R19} \right) v_{CC}$$

$$V_E = V_B - 0.7V$$

$$I_E = \frac{V_E}{R16}$$

$$r_e = \frac{25mv}{I_E}$$

Le gain en tension est ;

$$A_V = \frac{R23}{r_e}$$

$$A.N : V_B = 8.56V \quad V_E = 7.89V \quad I_E = 0.35mA \quad r_e = 71\Omega \quad A_V = 14.08$$

III.1.5.3 Circuit de démodulation :

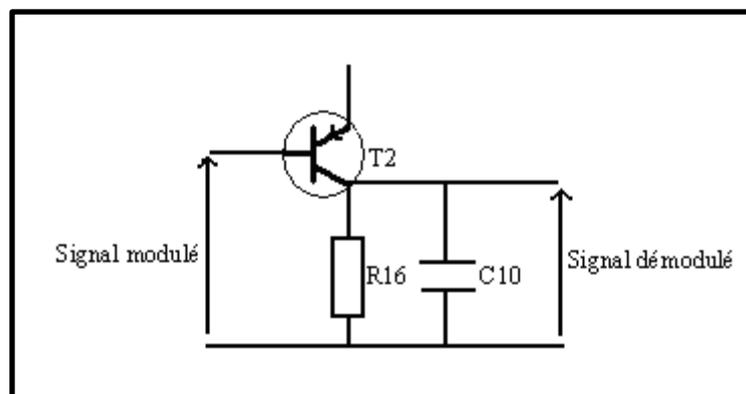


Figure II. 32 : Circuit de démodulation

D'une façon générale, un démodulateur opère la fonction inverse d'un modulateur. Alors que ce dernier modifie une des caractéristiques (amplitude ou fréquence) d'un signal haute fréquence appelé porteuse, le démodulateur extrait l'information qui avait été confiée à la porteuse et (si tout fonctionne bien), permet d'obtenir une copie fidèle du signal audio original (musique, paroles...).

Dans un récepteur en modulation d'amplitude, le démodulateur est souvent appelé détecteur

En électronique, un circuit démodulateur est appelé circuit de détection d'enveloppe. La diode permet de redresser le signal puis la charge et la décharge du condensateur permet le filtrage haute fréquence du signal.

III.1.5.4 _Analyse et Filtrage du signal d'écho :

Le signal de sortie est signaux sont acheminé sur l'une des entrées de la porte NAND II de IC2 .l'autre entrées de cette même porte étant soumise à la sortie de la porte NOR II de IC3 de la bascule monostable qui joue un rôle essentiel d'analyse du signal d'écho.

Par suite la sortie de la porte NAND I de IC2 est pris en compte par le dispositif dérivateur formé par C13, R12 et D2 qui suit le filtrage du signal d'écho.

III.1.5.5 Circuit séquenceur :

Les portes NAND I et II de IC1 forment un oscillateur astable .Il délivré sur sa sortie un signal carré .les fronts montants de ce signal sont pris en compte par le dispositif dérivateur formé par C4, R8 et D1, on relève ainsi de très brèves impulsions positives dues à la charge rapide de C4 à travers R8 .Ce signal se produit ainsi 10 fois a la seconde : c'est la fréquence de base des séquences de mesure.

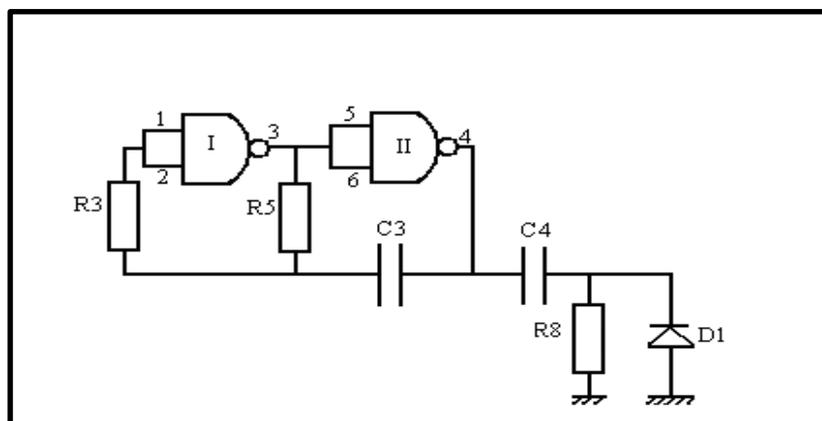


Figure II. 33 : circuit séquenceur

III.1.5.6 Circuit de comptage et d'affichage de distance :

L'oscillateur astable commandé formé par les portes III et IV de IC2 entre en action. Il délivre sur sa sortie des créneaux de forme carrée dont la période T est réglable grâce à l'ajustable A3.

T est mesuré comme précédant.

Donc ; $T = 0,69 \cdot 2(R20+A3) (C10)$.

La distance parcourue par l'onde est de : $2d=330 \cdot T$ avec d : le pas de comptage

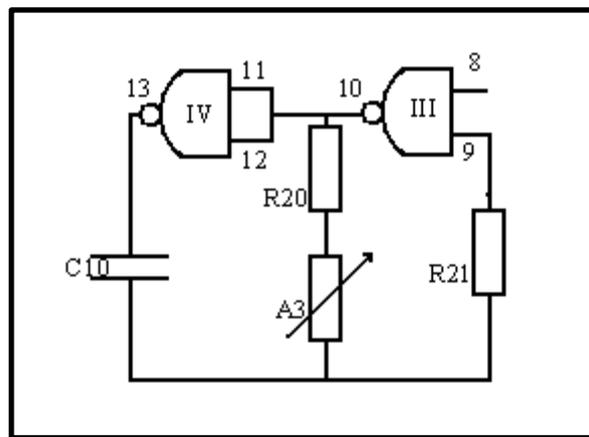


Figure II. 34 : Circuit de comptage et d'affichage de distance

Les signaux de comptage sont pris en compte par le trigger de Schmitt formé par les portes NOR I et II de IC4 et des résistances périphériques R13 et R7.

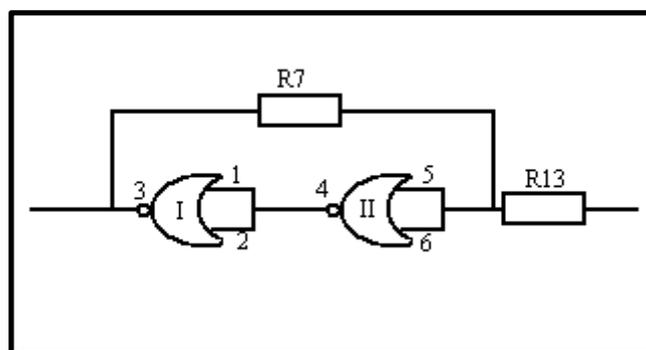


Figure II. 35 : Le Trigger de Schmitt

Le Trigger de Schmitt est un montage appelé aussi bascule à seuil. En effet deux seuils sont créés entre le niveau logique 0 et 1, ainsi quand le signal atteint le seuil haut la sortie du circuit bascule à 1 et quand le signal dépasse le seuil bas la sortie passe à 0. Le rôle du trigger est de

basculer de manière franche la sortie S alors que la tension des entrées E varie. La différence entre le niveau haut et bas pour les seuils de déclenchement s'appelle l'hystérésis.

Les afficheurs à LED sont des afficheurs qui permettent de visualiser un chiffre ou un nombre à l'aide de segments lumineux. Les sources lumineuses sont internes au composant et permettent l'affichage même en pleine nuit.

Le circuit intégré IC6 est un compteur décimal dont chacune des 9 sorties S1 à S9 est relié à une led. On obtient ainsi une échelle de mesure comportant 8 intervalles délimités par les Leds L1 à L9. En début de séquence, le compteur est remis à zéro par l'impulsion d'initiation déjà évoquée et présentée sur l'entrée R du compteur. Dès la fin de la séquence, la led concernée par le chronométrage reste allumée jusqu'à la séquence suivante.

III.1.5.7 Les compteurs :

- **Introduction :**

La fonction qui s'impose pour dénombrer des événements numériques est le **compteur**.

Un compteur résulte de l'assemblage d'un ensemble combinatoire et séquentiel (bascules JK le plus souvent) cadencé par un signal d'horloge H. La combinaison des n bits de sortie forme un mot binaire qui évolue en croissant ou décroissant au rythme de l'horloge [6].

- **Les décodeurs :**

Généralement un mot binaire à « N » bits peut présenter 2^N combinaisons différents, donc 2^N élément bien définis d'information. Si le choix d'une combinaison quelconque parmi les 2^N possibles, détermine le choix d'une seule sortie. la sortie « i » sera choisie dans le cas où l'équivalent décimal de l'adresse présente en entrée est « i », les circuits logiques (multipoles combinatoires qui réalisent cette fonction s'appellent décodeurs)

Le décodeur délivre, pour chaque valeur du code d'entrée, une seule sortie à l'état inverse de celui de toutes les autres.

- **Décodeur BCD :**

Un Code BCD est un code 4 bits dont 10 combinaisons sur les 16 possibles sont employées pour désigner les 10 chiffres décimaux 0 à 9.

Un décodeur BCD est donc un décodeur qui à 4 entrées de validation en générale, et 10 sorties l'une d'entre elles étant seule validée. les autres sorties sont dans l'état inverse et de 10 combinaisons, sont naturellement reliés à la valeur numérique BCD appliquée à l'entrée.

Quant aux 6 autres combinaisons non utilisées si elles sont toutes appliquées au décodeur celui-ci conçu pour mettre toutes ces combinaisons sans exception à l'état non valide.

- **Le compteur décimal 4017 (IC6):**

Le 4017 est un compteur décimal, c'est-à-dire un c.i. capable de compter de 1 à 10. Il comporte deux entrées d'horloge (clock) complémentaires: CP0 déclenche le comptage sur front montant (CP1 étant maintenu à l'état bas), CP1 sur front descendant (CP0 étant maintenu à l'état haut). On a donc le choix entre une logique positive ou négative.

Le comptage est matérialisé par un état haut sur la sortie correspondante (d'abord O0, puis O1, puis O2, etc.). Plus précisément, on aura O1 à l'état haut et toutes les autres sorties à l'état bas; puis, lors de l'impulsion suivante sur l'entrée d'horloge, O1 repassera à l'état bas et ce sera au tour de O2 de passer à l'état haut, et ainsi de suite [8].

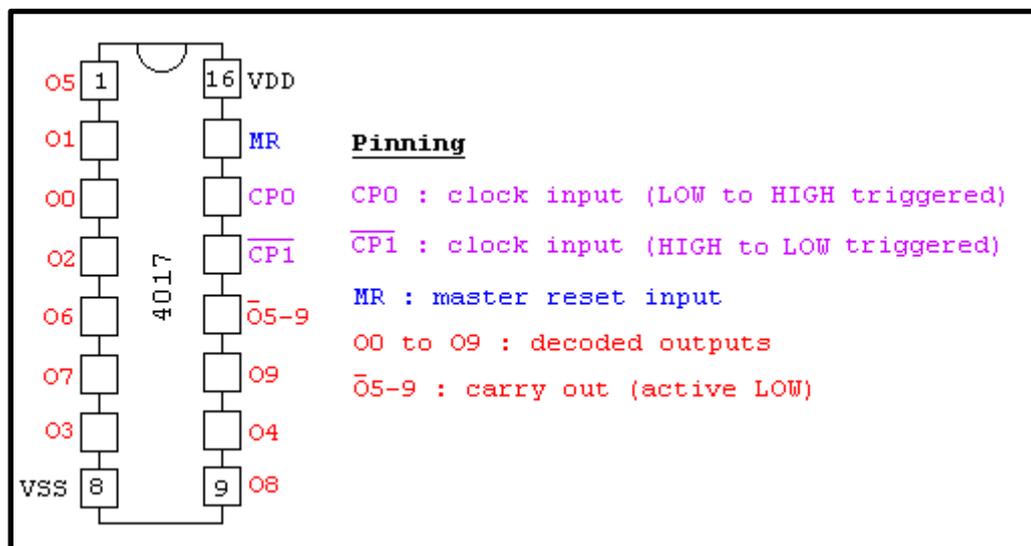


Figure II. 36 : Le compteur décimal 4017

On notera que la sortie carry out permet un montage "en cascade" de plusieurs 4017, ce qui rend possible une extension considérable de la capacité de comptage (unités, dizaines, centaines...). La broche 12 est à l'état bas lorsque le compteur est positionné sur l'un des états 5, 6, 7, 8 ou 9.

Enfin, l'entrée MR (master reset) remet le compteur à zéro lorsqu'elle est portée à l'état haut.

Un dispositif interne de correction automatique rétablit un comptage normal après 11 impulsions suivant une éventuelle impulsion erronée...

Le tableau ci-dessous résume les différentes opérations réalisées par le 4017 en fonction des états des entrées. Un X signifie "état indifférent".

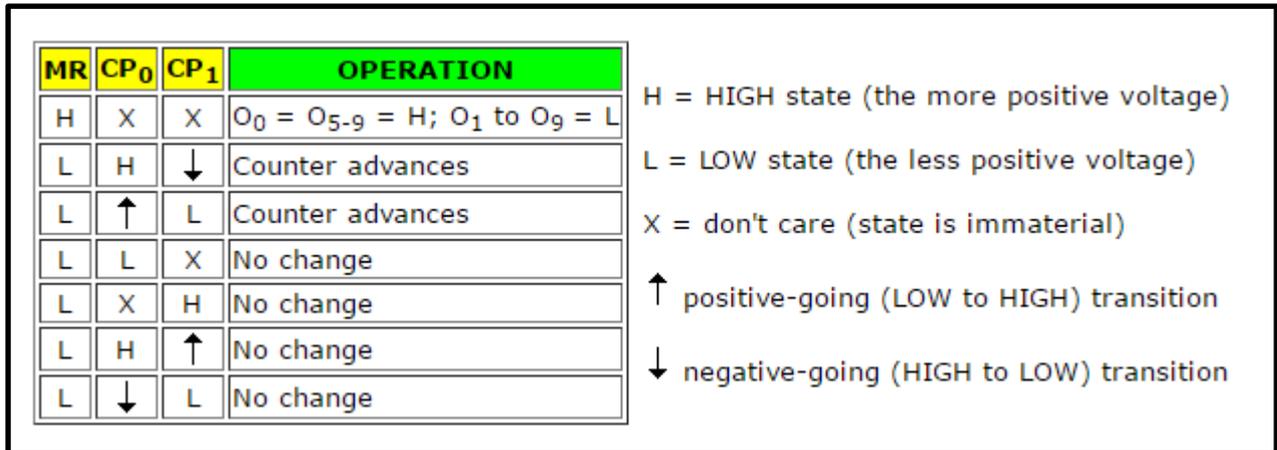


Figure II. 37 : différentes opérations réalisées par le 4017

Et voici un extrait du timing diagramme, lorsque le 4017 avance sur front montant, donc sur une impulsion positive sur l'entrée CP₀, les entrées CP₁ et MR étant au niveau bas:

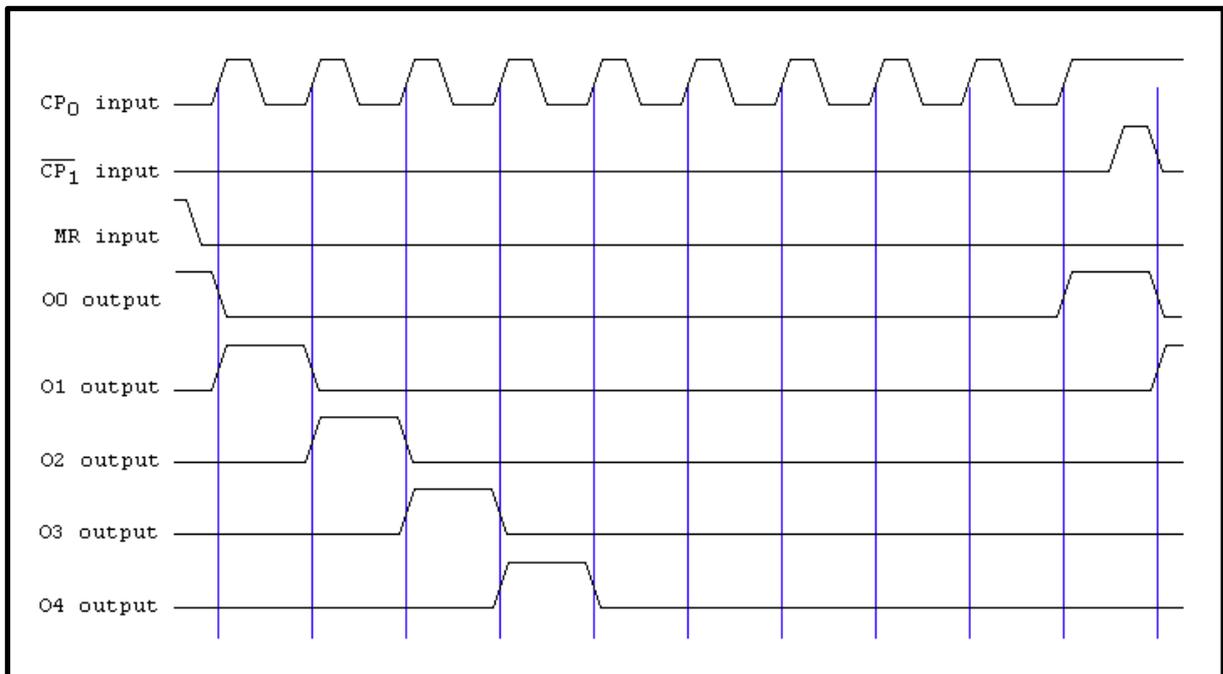


Figure II. 38 : Graphique démontrant les sorties du compteur

III.2 Réalisation pratique du circuit basse fréquence.

III.2.1 Principe:

Les ultrasons se déplacent dans l'air à la vitesse de **330** mètres / seconde pour une température de **20°C**. Dans notre radar ultrasonique expérimental, nous faisons appel à des ultrasons caractérisés par une fréquence de **40kHz**, ce qui correspond à une période de **25µs**. En conséquence, la longueur d'onde, qui est la distance séparant par exemple deux crêtes consécutives du signal est égale à :

$$\lambda = 330 * 25 * 10^{-6} = 8,25 * 10^{-3} \text{ m ce qui correspond à environ } 8 \text{ mm}$$

Le principe de fonctionnement de notre radar ultrasonique consiste à envoyer périodiquement une suite de 4 à 5 périodes élémentaires de **25µs** et de mesurer la durée s'écoulant entre l'émission et la réception de l'écho engendré par la réflexion du signal sur un obstacle. Il est alors possible de déterminer la distance séparant l'émetteur ultrasonique de l'obstacle : elle correspond à la moitié de la distance parcourue par le signal, étant donné que ce dernier effectue en réalité un aller et retour [7].

III.2.2 Fonctionnement :

Il suffit de se reporter au (schéma électrique) pour suivre les différents étages de ce radar su circuit basse fréquence

- **Alimentation :**

L'énergie est fournie par une pile de 9 volts que l'interrupteur i permet de mettre en service. La capacité C1 compense les irrégularités de courant dues au fonctionnement séquentiel du montage, tandis que C2 assure le découplage du montage de l'alimentation. La led 10, dont le courant est limité par R1 signale la mise sous tension du radar dont la consommation est de l'ordre de 20 ma.

- **Base de temps séquentiel :**

Les portes NAND I et II de IC1 forment un oscillateur astable. Il délivre sur sa sortie un signal carré caractérisé par une période de l'ordre de 100 ms. Les fronts montants de ce signal sont pris en compte par le dispositif dérivateur formé par C4, R8 et D1. Sur la cathode de D1, on relève ainsi de très brèves impulsions positives dues à la charge rapide de C4 à travers R8. Ce signal se produit ainsi 10 fois à la seconde : c'est la fréquence de base des séquences de mesure.

III.2.2.1 Emission:

Les portes NOR III et IV de IC3 constituent une bascule monostable qui délivre sur sa sortie des états hauts d'une durée d'environ 100 à 110 μ s pour chaque impulsion de commande séquentielle évoquée au paragraphe précédente. Lors de ces états hauts, l'oscillateur astable commande forme par les portes NAND III et IV de IC1 entre en action et génère un signal carré de 25 μ s de période.

L'émetteur ultrasonique est soumis à ce signal. Étant donné que ses bornes sont reliées entre les sorties respectives des portes NAND III et IV, la différence des potentiels sépare les mini et les maxi atteint 18 volts, ce qui accroît son efficacité. Compte tenu de la durée de l'activation de la bascule astable, le nombre de période élémentaires de 25 μ s générées par l'émetteur ultrasonique est de 4x5. Cela correspond en fait à l'envoi d'un signal ultrasonique caractérisé par une longueur physique de 35 à 40 mm.

- **Neutralisation temporaire de la réception de l'écho :**

À l'occasion du début de chaque séquence, la bascule monostable formée par les portes NOR I et II de IC3 délivre un état haut d'une durée d'environ 190 à 200 ms. Nous verrons ultérieurement que pendant ce temps-là, il se produit la neutralisation volontaire de la réception de l'écho.

Cette disposition est nécessaire afin de ne pas prendre en compte la queue du signal ultrasonique s'échappant de l'émetteur, ce dernier étant physiquement disposé à proximité du récepteur.

III.2.2.2 Réception:

La capsule réceptrice achemine les signaux perçus sur la base du transistor NPN/T1, monté en émetteur commun, par l'intermédiaire de C7 les signaux ainsi pré-amplifiés sont ensuite prélevés du collecteur de T1 et dirigés sur l'entrée inverseuse de l'ampli-op référencé IC5. Grâce à l'ajustable A2, il est possible d'en régler le coefficient d'amplification. Enfin, par l'intermédiaire de C9, le signal est présenté sur la base du transistor PNP/T2, également monté en émetteur commun. Sa polarisation est telle qu'en absence de signal, son collecteur présente un potentiel nul. Les impulsions positives prélevées du collecteur en cas de réception de signaux sont ensuite acheminées sur l'une des entrées de la porte NAND II de IC2. L'autre entrée de cette même porte étant soumise à la sortie de la porte NOR II de IC3 de la bascule monostable de neutralisation, la sortie de la porte NAND I de IC2 ne présente un éventuel état haut qu'après

cette période de neutralisation ce qui correspond en fait à la réception de l'écho consécutif à la réflexion de l'onde ultrasonique sur un obstacle.

- **Mise en évidence de la durée séparant émission et réception du signal ultrasonique :**

Les portes NOR III et IV de IC4 forment une bascule R/S .Toute impulsion positive présentée sur l'entrée 8 a pour conséquence le passage immédiat de la sortie 11 à un état haut stable .Cette situation dure aussi longtemps que l'entrée 13 reste soumise à un état bas .Dès que cette entrée reçoit une impulsion positive, la sortie 11de la bascule R /S repasse sur un état bas stable .Au début de chaque séquence , l'entrée 8 de la bascule R/S est soumise au même ordre d'initialisation que celui qui correspond au début de l'émission ultrasonique . Sa sortie passe donc à l'état haut. Aussitôt que ce produit l'écho de retour, le premier front montant du signal positif délivré par la sortie de la porte NAND I de IC2 est pris en compte par le dispositif dérivateur formé par C13, R12 et D2.La brève impulsion positive qui en résulte est alors acheminée sur l'entrée 13 de la bascule R/S. la sortie de cette dernière repasse alors à son état bas de repos.

- **Chronométrage de la durée :**

Lors des états hauts disponibles sur la sortie 11 de la bascule R/S, l'oscillateur astable commandé formé par les portes III et IV de IC2 entre en action. Il délivre sur sa sortie des créneaux de forme carrée dont la période est réglable grâce à l'ajustable A3.Pour une position médiane du curseur, cette période est de l'ordre de 600 μ s. Comme nous le verrons au paragraphe suivant, chaque période correspond en fait à l'avance d'une position d'un compteur. Pour un durée de 600 μ s séparent les moment correspondants respectivement à l'émission et à la réception du signal ultrasonique, la distance parcourue par l'onde est de :

$$2d=330*0.6*10^{-3} \text{ soit } 0.2 \text{ m (200 mm).}$$

Dans ce cas de figure, le réglage du chronométrage correspond en fait à un pas de comptage de 10 cm. Les signaux de comptage sont pris en compte par le trigger de Schmitt formé par les portes NOR I et II de IC4 et des résistances périphériques R13 et R7.

III.2.2.3 Affichage :

Le circuit intégré IC6 est un compteur décimal dont chacune des 9 sorties S1 à S9 est relié à une led. On obtient ainsi une échelle de mesure comportant 8 intervalles délimités par les Leds L1 à L9.En début de séquence, le compteur est remis à zéro par l'impulsion d'initiation déjà évoquée et présentée sur l'entrée R du compteur. Dès la fin de la séquence, la led concernée par

le chronométrage reste allumée jusqu'à la séquence suivante. Grâce à la persistance rétinienne, l'utilisateur du radar ultrasonique observera ainsi l'allumage permanent de la led correspondant à la distance le séparant de l'obstacle détecté.

On a aussi mis en place une échelle pour estimer la distance à la quel la cible se trouvait (figure III.39).

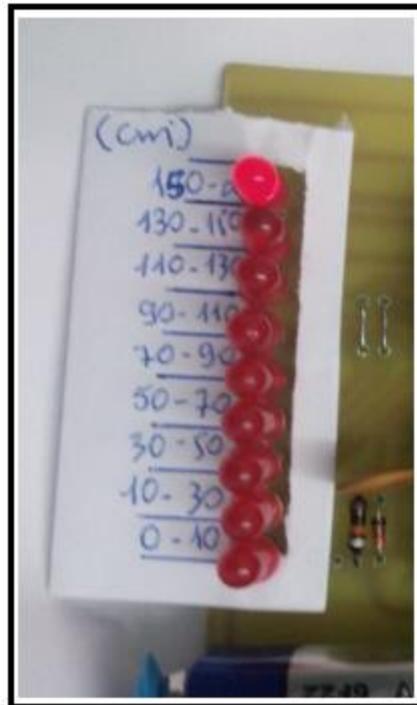


Figure III. 39 : L'échelle de l'estimation de la distance de la cible

III.2.3 La réalisation

III.2.3.1 le module :

La figure III.40 fait état du circuit imprimé du module. Quant à la figure III.41, elle indique l'implantation des composants.

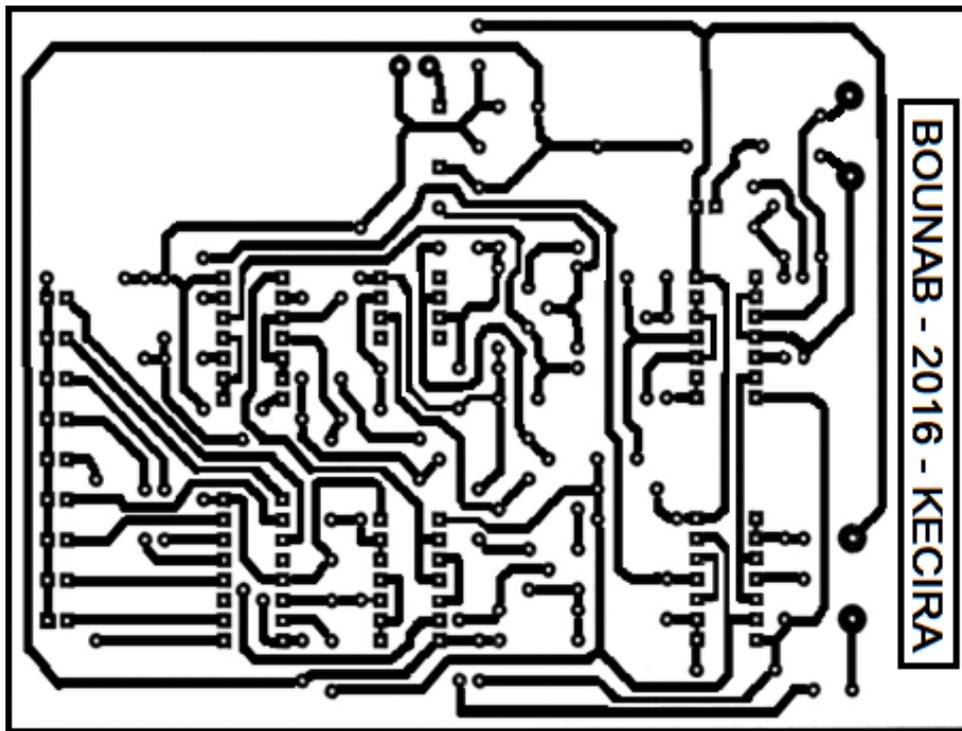


Figure III. 40 : Le circuit imprimé coté cuivre

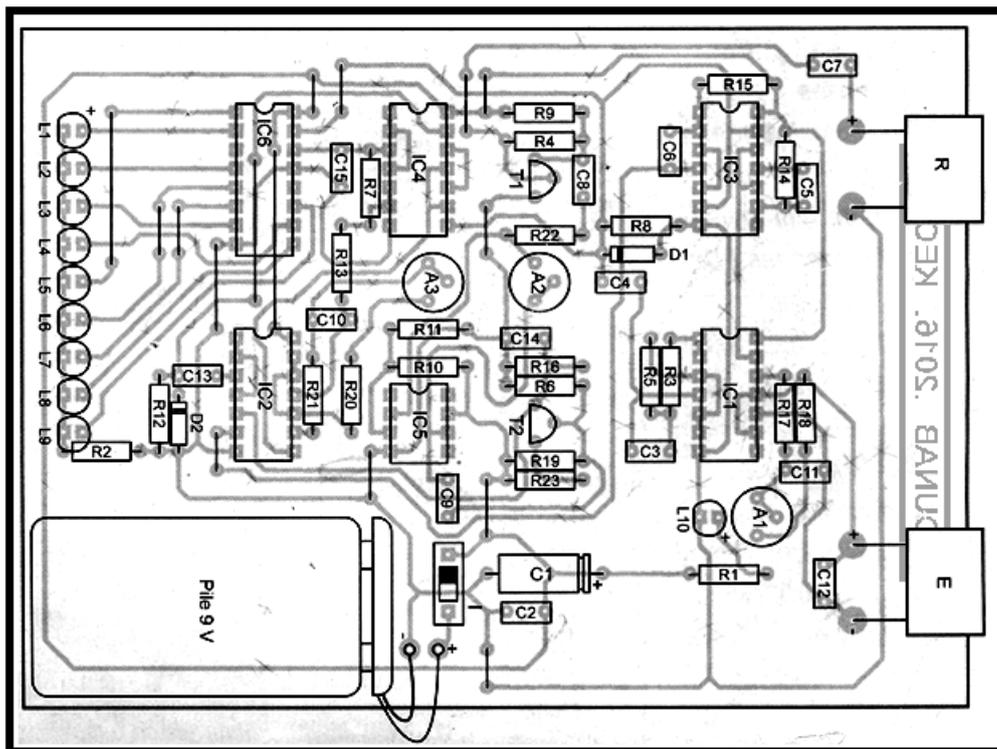


Figure III. 41 : Le circuit imprimé coté éléments

III.2.3.2 Les réglages:

○ Ajustable A1 :

Il correspond au réglage de la fréquence du signal ultrasonique. Si on ne dispose pas d'oscilloscope, on laissera le curseur en position médiane. Par la suite, lorsque les autres réglages seront terminés, en tournant légèrement ce curseur dans un sens ou dans l'autre, il sera possible d'atteindre la portée optimale du radar dans la mesure ou l'émetteur ultrasonique fonctionne sous sa valeur nominale de 40 kHz

○ Ajustable A2 :

Grâce à cet ajustable, il est possible de régler la sensibilité de la réception de l'écho de réflexion. Cette sensibilité augmente si on tourne le curseur dans le sens horaire. Généralement, la position médiane convient.

○ Ajustable A3 :

L'intervention sur le curseur de cet ajustable permet de définir le pas de la mesure de l'affichage des distances.

III.2.3.3 Les essais :

○ Essai sans cible (sans obstacle) :



Figure III. 42 : Radar en fonction sans cible (1 led allumé)

- Essaie avec une cible à une distance de plus de 1.5m :

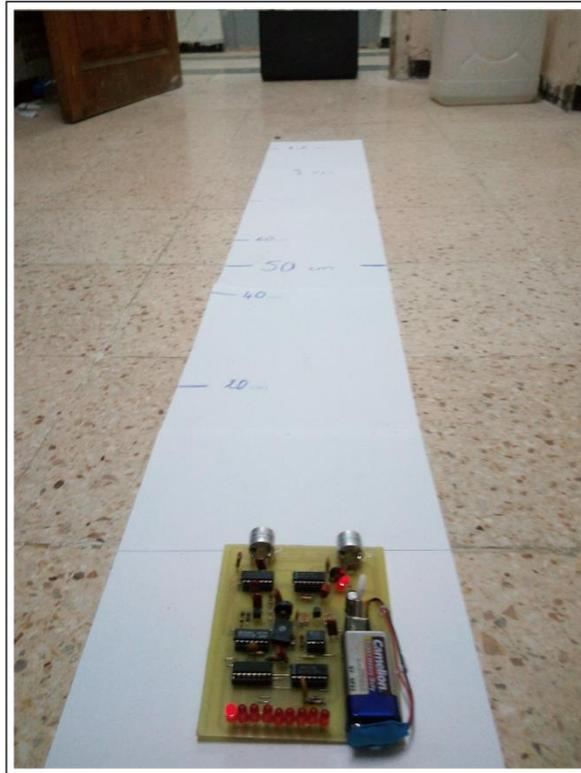


Figure III. 43 : cible à plus de 1.5 m (1led allumé)

- Essaie avec une cible a une distance de 1.2 m

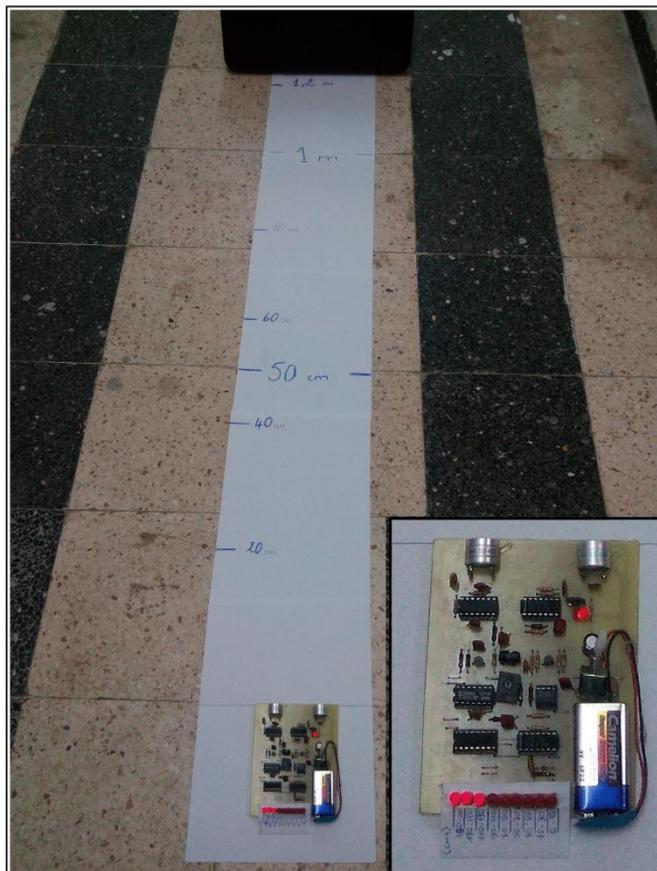


Figure III. 44 : Cible à 1.2m (3 les allumé)

- **Essaie avec une cible a une distance de 0.6 m :**



Figure III. 45 : Cible à 60 cm (6 led allumé)

Après plusieurs essais on a pu mettre en place une échelle pour concrétiser les distances affichées par les led (voir la figure III.46).

Led allumées	La distance (cm)
1	De 150 à l'infini
2	De 130 à 150
3	De 110 à 130
4	De 90 à 110
5	De 70 à 90
6	De 50 à 70
7	De 30 à 50
8	De 10 à 30
9	De 5 à 10

Figure III. 46 : l'estimation de la distance de la cible

IV Conclusion générale :

Au terme de ce travail mené dans le but d'un projet de fin d'étude ayant un objectif principal « la mesure de la distance avec un radar (simulation et réalisation) » on a entamé tout d'abord une étude théorique concernant tous les blocs de notre réalisation et de notre simulation, en mentionnant le rôle de chaque bloque tout en passant à la fonction globale du circuit.

Lors de la mise en marche du circuit et de la simulation les résultats obtenus sont très satisfaisants ; partie réalisation on a quand même eu des réserves sur la précision due à la tolérance des composants électroniques utilisés d'une part, d'autre part l'inconvénient de mesure qui réside dans le fait que notre appareil ne peut pas mesurer une distance inférieure à **5 cm** (due au transducteur ultrasonique).

Notre projet ainsi réalisé ouvre des perspectives pour un avenir prochain dont on peut citer, l'utilisation des afficheurs (7 segments ou LCD) pour l'affichage de la distance ou lieu d'utiliser des LED. Quant à la simulation l'utilisation d'un signal à onde continue pour calculer la vitesse de la cible.

ANNEXE :

Liste des composants :

Les résistances :

R1 et R2 :560 Ω [vert, bleu, marron]

R3 et R4 :1M Ω [marron, noir, vert]

R5 à R7 :100k Ω [marron, noir, jaune]

R8 à R13 : 10k Ω [marron, noir, orange]

R14: 15k Ω [marron, vert, orange]

R15: 27k Ω [rouge, violet, orange]

R16: 22k Ω [rouge, rouge, orange]

R17: 220k Ω [rouge, rouge, jaune]

R18: 2,2k Ω [rouge, rouge, rouge]

R19 et R20: 4,7k Ω [jaune, violet, rouge]

R21: 470k Ω [jaune, violet, jaune]

R22 et R23: 1k Ω [marron, noir, rouge]

A1: Ajustable 22k Ω

A2: Ajustable 100k Ω

A3 : Ajustable 47k Ω

Les Diodes :

D1 et D2 : Diodes 1N 4148

L1 à L10 : Leds rouge ϕ 3

Les condensateurs :

C1 :47 μ f /16v -électrolytique

C2 :0,1 μ f-céramique multicouches

C3 :0,47 μ f-céramique multicouches

C4 à C10 :10nf-céramique multicouches

C11 et C12 :470pf-céramique multicouches

C13 :4,7nf-céramique multicouches

C14 et C15 :1nf-céramique multicouches

Les transistors :

T1 : Transistor NPN /BC546

T2: Transistor PNP /BC556

Les circuits intégrés :

IC1 et IC2 : CD4011 (4 portes NAND)

IC3et IC4 : CD4001 (4 portes Nor)

IC5 : LM 741(ampli-op)

IC6 :CD4017 (compteur -décodeur -décimal)

Les transducteurs :

E : Capsule US émettrice 40 kHz

R: Capsule US réceptrice 40 kHz

Divers:

I: Inverseur dual in line

Pile 9v alcaline

1support 8 broches

4support 14 broches

1support 16 broches

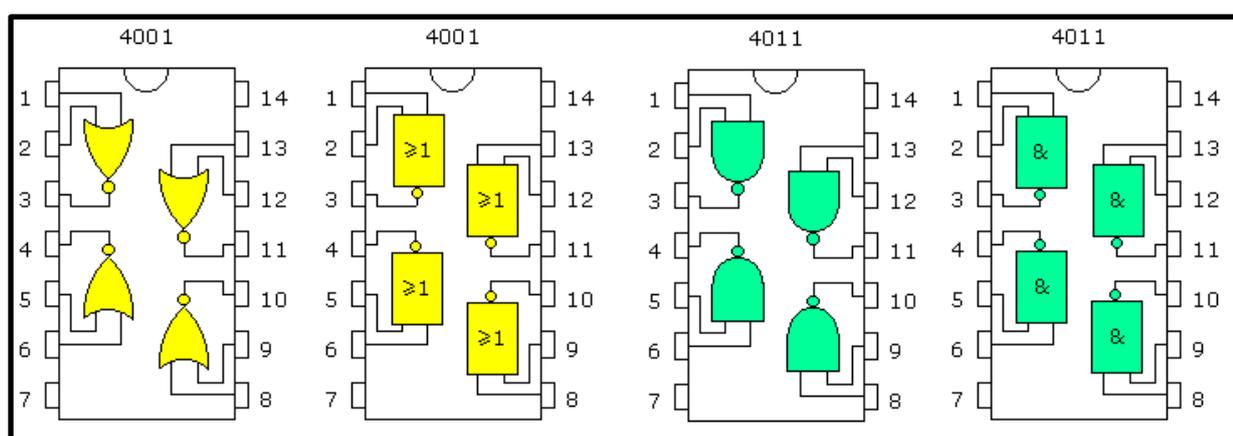
Les c.i. 4001 et 4011 [8]:

Figure 47 : les circuits intégrés 4001 et 4011

Bibliographie :

[1] Application à la représentation symbolique de mesures de distance par codage flou (Gilles MAURIS).

[2] DAT '2000 Techniques et Architectures des Systèmes de Détection, mai 2000.

[3] BARKAT M. Signal Detection and Estimation. Artech House, 2005.

[4] COLIN J.-M. Le radar, théorie et pratique. Ellipses, Paris, 2002.

[5] CAPTEURS ULTRASONORES "INTELLIGENTS"

[6] Fondement d'électronique 4EME EDITION

[7] ELECTRONIQUE PRATIQUE (Magazine)

[8] www.datasheetcatalog.com

<http://perso.wanadoo.fr/grc/acqueririnfolog04.htm>

<http://www.sinaptec.fr/>

www.l'electronique.com

Fondement d'électronique 4EME EDITION