

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



---

Université Dr. Tahar Moulay de Saïda  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département d'Electronique



## Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de

**Licence (LMD)**

**Filière : GENIE ELECTRIQUE**

**Spécialité : Télécommunication**

Intitulé :

---

**Estimation et Détection les Signaux RADAR**

---

Présenté par :

**CHAABANE CHAUCHE HICHAM  
OULD KADDA FAÏÇAL**

Sous la direction de :

**Mer. M.BENOIS**

Soutenu le 25/06/2013  
Promotion 2014-2015

# Sommaire :

## 1\_ Partie de la théorie :

1_1_ Introduction .....	3
1_2_ Définition et principe de fonctionnement du radar :.....	4
1_3_ Principe de base .....	4
1_3_1_ Principe de radar à impulsion .....	7
1_3_2_ compositions d'un radar .....	8
1_3_3_ Principes généraux du Radar .....	9
1_4_ Notions sur les performances des radars .....	10
1_4_1_ Localisation en angle .....	10
1_4_2_ Localisation en distance .....	11
1_5_ L'effet Doppler .....	12
1_5_1_ Type du radar a impulsion.....	12
1_5_2_ Range résolution .....	13
1_6_ Equation du radar .....	13
1_7_ Le bruit .....	16
1_7_1_ Le bruit thermique .....	16
1_7_2_ Parasites extérieurs (Clutter) .....	16
1_9_ Théorie de la détection .....	17
1_9_1_ Positon du problème .....	17
1_9_2_ Critère de décision de bayes .....	18
1_10_ Théorie de L'estimation .....	21
1_10_1 Position du problème .....	21

## 2\_ Partie de la Simulation :

2_1_ Introduction .....	22
2_2_ intégration cohérent .....	22
2_3_ Intégration Non-Cohérent .....	23
2_4_ Tableau des grandeurs dans le system du RADAR .....	25
2_5_ Conclusion .....	26

## 3\_ Références Bibliographique.....30

### Remerciements :

Nous souhaitons sincèrement remercier toutes les personnes qui ont contribué d'une manière ou d'autre à l'achèvement de ces travaux de mémoire.

Nous tenons également à remercions Mr Benouis Mohamed pour m'avoir encadré et aidé pour ce travail.

Et à tous mes professeurs qui nous a accompagnés dans notre parcours universitaire.

Et tous les amies et la famille.

---

## Sommaire.

### 1-1 Introduction:

---

Le terme radar est lié à son mot d'origine, qui est « radio détection and ranging », le principe est la détermination de la présence et la localisation d'un objet en utilisant les échos des ondes radio.

Le développement du radar a une importante partie dans la révélation technologique qui a pris place en XX siècles, et durant la deuxième guerre mondiale, il a connu un progrès rapide et continu.

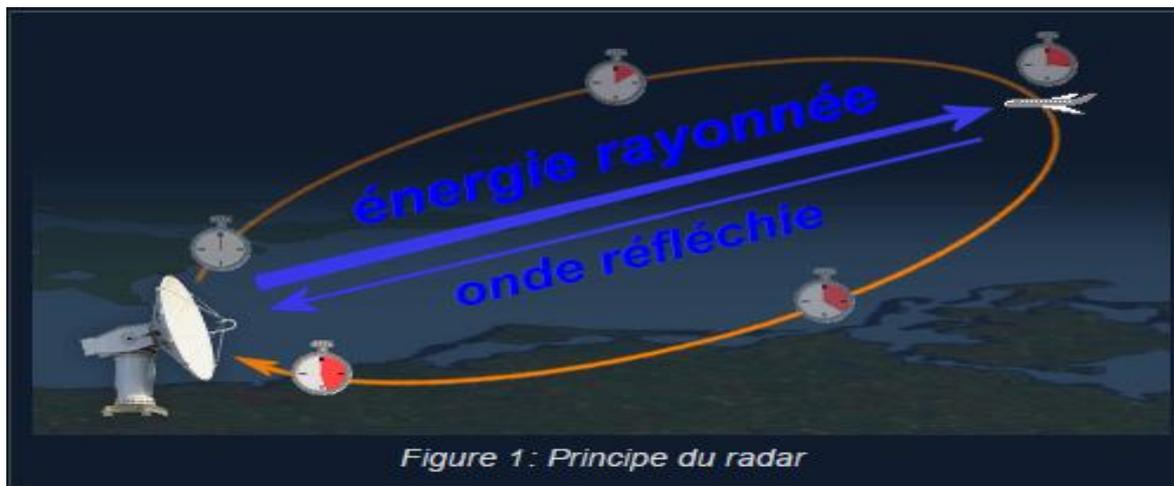
Dans le temps moderne, l'utilisation du radar est plus vaste non seulement dans le domaine militaire mais aussi civil, même aussi spatial.

Les principaux domaines d'utilisations du radar sont :

- Contrôle de trafic.
- Météorologie.
- Détection des missiles.

Et notons que chaque domaine d'utilisation a son radar spécifique qui est développé selon des critères spéciaux.

## 1-2 Définition et principe de fonctionnement du radar :



**Figure 1** : Principe du radar

Un radar est un appareil qui est utilisé pour localiser des objets mobiles ou fixes (terrestre, aérien) lointain ou proche dans l'espace.

Pour son fonctionnement le Principe est simple:

L'émetteur diffuse au moyen d'une antenne un faisceau d'ondes électromagnétiques concentrées dans la direction souhaitée. Lorsque ces ondes rencontrent un objet, elles s'y réfléchissent formant un « écho radar ».

L'antenne capte le signal d'écho, ce signal va donc indiquer la présence de la cible. ....)

Le radar a trouvé un usage quasi-universel dans toute les domaines qui font partie de notre vie quotidienne (navigation en mer et dans les aires, la me théologie, détection de pollution...).

L'une des principales utilisations du radar reste d'ordre militaire ou spatial.

Pour la description complète des radars on peut dire qu'ils sont classés en deux catégories :

- Les radars à impulsion.
- Les radars à ondes continues.

Pratiquement le radar utilise un signal  $S(t)$  qui occupe un spectre de fréquences de largeur très étroit.

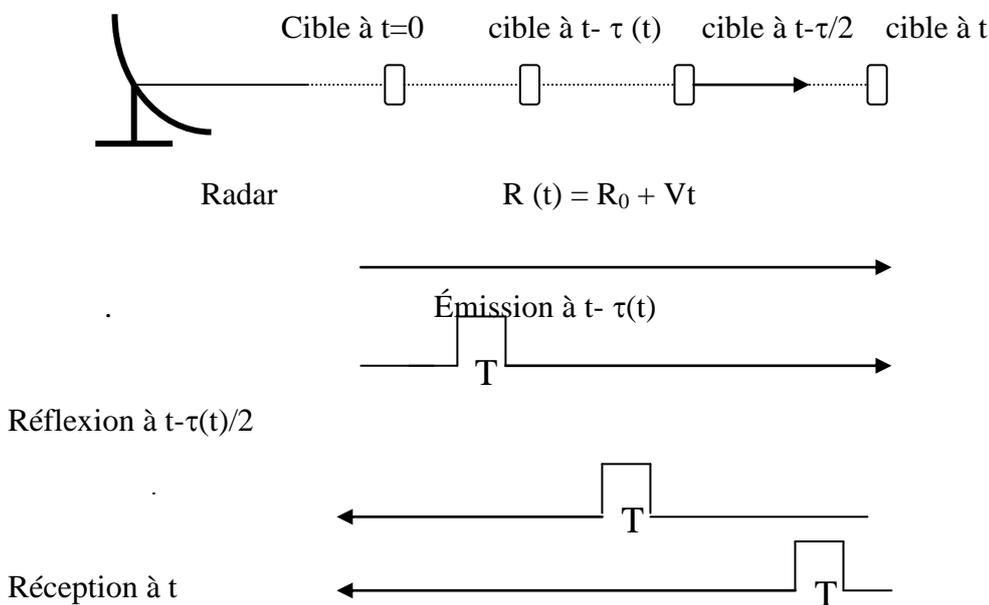
On peut écrire le signal d'émission sous la forme :  $s(t) = \mu(t) e^{j\omega_0 t}$  (1.0)

D'où  $U(t)$  est l'enveloppe complexe du signal émet.

**Exemple :**

On a un objet à détecter supposons qui s'éloigne du radar par une distance noté  $R(t)$  :

$$R(t) = R_0 + V \cdot t$$



**Figure 1-1:** Principe de l'émission réflexionsur une cible

Comme il est schématisé sur la figure 1-1, l'émission du signal se fait à l'instant  $t - \tau(t) / 2$ , et la réception dans l'instant  $t$ , d'où  $\tau(t)$  est le temps de trajet aller-retour du signal radar sur l'objet à détecter, donc on peut déterminer  $\tau(t)$  en fonction de  $R_0$  :

---

Par définition  $R_0$  : position initiale de la cible.

$V$  : vitesse de la cible.

$C$  : vitesse de la lumière.

$$C\tau(t) = 2R\left(t - \frac{\tau(t)}{2}\right) \quad (1.1)$$

$$R\left[t - \frac{\tau(t)}{2}\right] = R_0 + V\left[t - \frac{\tau(t)}{2}\right] \quad (1.2)$$

$$\text{D'où : } \tau(t) = \frac{2R_0/C}{1+V/C} + \frac{2tV/C}{1+V/C} \quad (1.3)$$

La réception du signal est toujours accompagnée par un bruit, elle est affectée d'un retard correspond au trajet radar cible aller et retour et d'un coefficient complexe  $\alpha$  dû à la réflexion sur la cible.

Donc le signal reçu peut s'écrire :

$$\alpha \mu(t - \tau(t)) e^{j\omega_0(t - \tau(t))} \quad (1.4)$$

Si on examine séparément l'enveloppe et la porteuse on aura :

$$\mu(t - \tau(t)) = \mu\left[t - \frac{2R_0/C}{1+V/C} - \frac{2V/C}{1+V/C}t\right] \quad (1.5)$$

$$\text{Soit : } \mu\left[t\left(1 - \frac{2R_0/V}{1+V/C}\right) - \frac{2R_0/C}{1+V/C}\right]$$

Le mouvement de la cible se traduit donc par :

- un retard  $\frac{2R_0/C}{1+V/C} \approx \frac{2R_0}{C}$  pour les vitesses usuelles.

- un changement de l'échelle des temps, qui est multiplié par  $1 - \frac{2V/C}{1+V/C}$ , ce rapport est généralement faible, négligeable.

Si la bande du signal émis est B, la valeur de  $\mu(t)$  ne change pas pendant une durée «  $1/B$  » l'erreur sera donc négligeable si :

$$T \frac{2V/C}{1+V/C} \ll \frac{1}{B} \quad , \quad \text{or } V/C \ll 1$$

T : durée du signal émis, D'où :  $BT \ll \frac{C}{2V}$

Condition généralement vérifiée en radar

Par conséquent, on peut considérer généralement que le mouvement de la cible n'a pas de conséquence sur l'enveloppe complexe autre que le retard dû au trajet aller-retour  $2R_0/C$ .

La porteuse reçue s'écrit :  $e^{j\omega_0(t-\tau(t))}$

$$\text{Soit encore : } e^{j\omega_0 t} \left[ 1 - \frac{2V/C}{1+V/C} \right] e^{-j\varphi} \quad (1.6)$$

Avec  $\varphi = \frac{2\omega_0 R_0/C}{1+V/C} \approx 2\omega_0 \frac{R_0}{C}$  La porteuse est décalée en fréquence de

$\Delta f = 2 \frac{V}{C} f_0 = \frac{2V}{\lambda_0}$  (pour  $\frac{V}{C} \ll 1$ ), de la mesure de ce « décalage doppler » peut donc être déduite la vitesse radiale V de la cible.

En résumé, si le signal émis est  $\mu(t) e^{j\omega_0 t}$ , le signal reçu en provenance d'une cible, située à une distance  $R_0$  et dont la vitesse radiale est V, sera de la forme :

$$\mu\left(t - 2\frac{R_0}{C}\right) e^{-j\varphi} e^{j\omega_0 \left(1 - \frac{2V}{C}\right)t} \quad (1.7)$$

Si l'on a :  $\left\{ \begin{array}{l} V/C \ll 1 \\ BT \ll \frac{C}{2V} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} B : \text{ bande du signal} \\ T : \text{ durée du signal} \end{array} \right.$

Ce signal peut encore s'écrire :

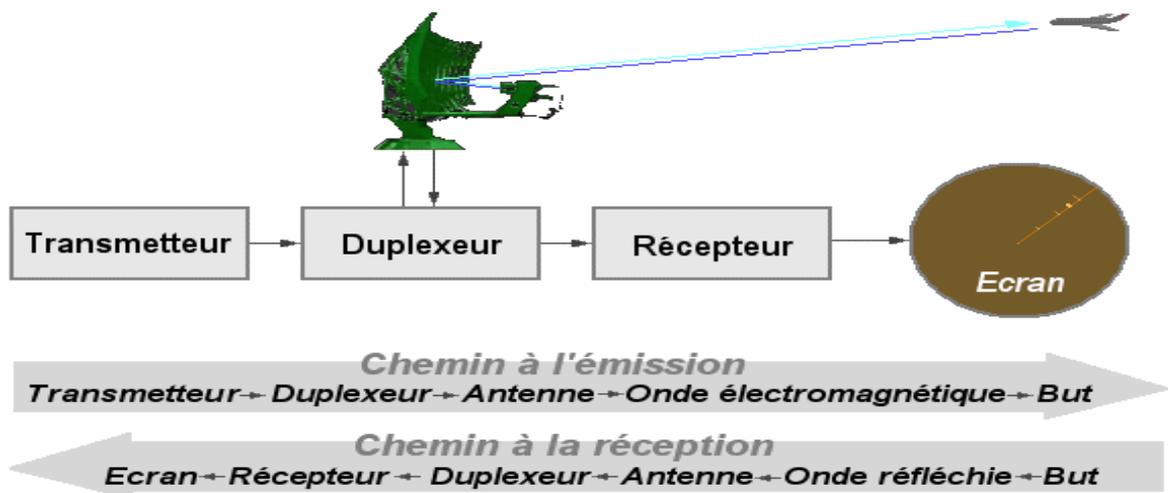
$$\alpha\mu(t-2R_0/c)e^{j\omega_0 2tV/C} e^{-j\varphi} e^{j\omega_0 t} = \alpha\alpha(t,\theta)e^{-j\varphi} e^{j\omega_0 t} \quad (1.8)$$

Avec  $\theta$ , vecteur des paramètres à mesurer égal à  $(2R_0/C, 2\omega_0 V/C)$  se rapportant respectivement au temps de retour et de la fréquence du signal.

On voit que le problème de base du radar est de mesurer le temps de retour et la fréquence d'un signal.

### 1-3 Principe de base :

#### 1-3-1 Principe de radar à impulsion :



**Figure 1-2** : Principede radar à impulsion.

Le radar se comporte comme un ensemble d'éléments composant d'un émetteur, d'un récepteur, d'une antenne, d'un système d'exploitation. Il utilise le principe des ondes électromagnétiques.

Pour fonctionner correctement, l'émetteur radar doit émettre une grande quantité d'énergie puis recevoir détecter et mesurer une fraction infinie de celle-ci retournée sous forme d'écho.

Le radar à impulsions émet avec une certaine fréquence de récurrence  $F_r$  des impulsions rectangulaires de durée  $T_i$ .

Ces impulsions ont cependant leur existence d'une puissance (puissance crête)  $P_c$ .

La puissance à « moyenne » émise  $P_m$  étant évidemment égal à :

$$P_c \cdot T_i \cdot F_r = P_m$$

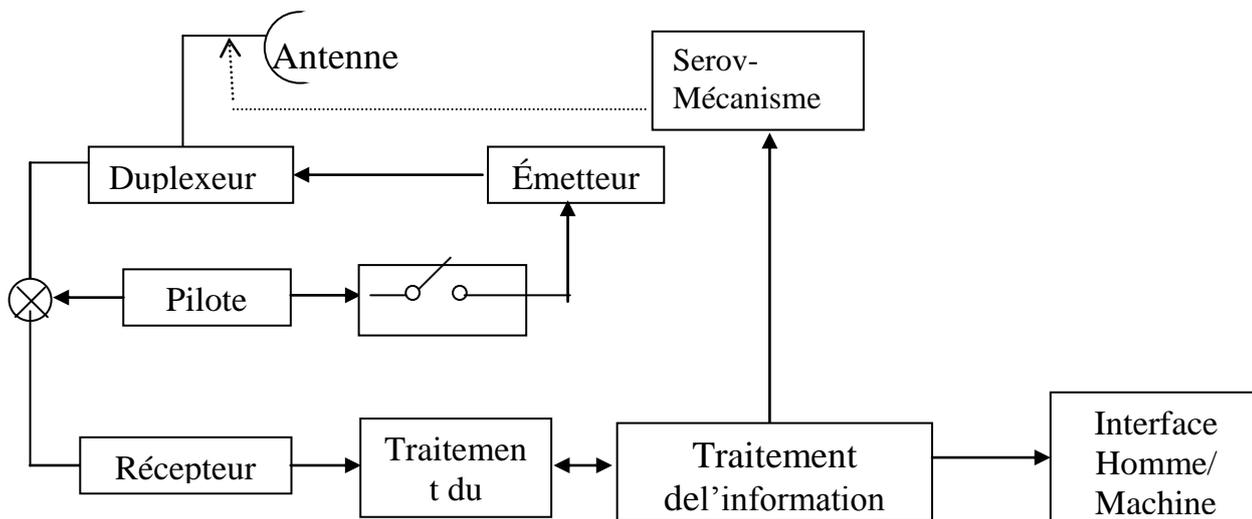
Où  $1/(T_i \cdot F_r)$  : est le « facteur de forme » du radar.

#### Exemple :

$P_c = 20 \text{ Mw}$ ,  $T_i = 4 \mu\text{s}$ ,  $F_r = 250 \text{ MHz}$   
 Facteur de forme = 1000,  $P_m = 20 \text{ Kw}$

### 1-3-2 compositions d'un radar :

Le fonctionnement du radar correspond au schéma donné à la (figure1-3)



**FigureI.3 :** Schéma synoptique d'un radar moderne

- **L'antenne :** le radar est doté d'une antenne directive, permet de détecter et de localiser une cible ; ses caractéristiques dépendent essentiellement de l'application, et en particulier de la place disponible, on recherche généralement à obtenir des faisceaux étroits pour mieux localiser la cible.
- **Le duplexeur :** cet élément hyperfréquence autorise l'utilisation de la même antenne à l'émission et à la réception ; son rôle est d'aiguiller l'énergie émise de l'émetteur vers l'antenne et le signal reçu de l'antenne vers le récepteur.
- **L'émetteur :** L'émetteur est le générateur de l'onde radioélectrique émise par le radar.
- **Le pilote :** c'est un sous-ensemble qui génère l'ensemble des signaux de fréquences de référence nécessaires au fonctionnement du radar, c'est-à-dire :
  - l'oscillateur local (OL) utilisé par la réception super hétéro type du radar.
  - L'onde FI (fréquence intermédiaire) qui servira à démoduler le signal après réception.
  - l'onde d'émission : est obtenu par battement (transposition) de l'onde OL et de l'onde FI.
  - les horloges de base du radar (synchro, échantillonnage etc.)
- **Le récepteur :** Le récepteur radar est du type hétérodyne (avec changement de fréquence) avec en plus souvent un étage amplificateur hyperfréquence (faible bruit)

---

en tête. Après changement de fréquence, la fréquence du signal devient alors  $f_i + f_d$ , où  $f_d$  est la fréquence doppler du signal. Le récepteur, qui doit être linéaire dans toute la dynamique de réception, amplifie le signal reçu pour permettre un traitement ultérieure, sa sensibilité est de l'ordre de  $10^{-14}$  W.

- **Traitement du signal** : Les signaux fournis par le récepteur sont composés de signaux utiles (échos de cible) mélangés à des signaux parasites. Le rôle du traitement de signal est :
  - de détecter les cibles utiles, c'est à dire de décider si le mélange résultant contient ou non des cibles utiles.
  - de mesurer les paramètres de ces cibles (distance, vitesse doppler, écarts angulaires ... etc.).

- **Système de traitement de l'information** : Ce système manipule les données à partir des informations brutes fournies par le système de traitement du signal.

- **Le Servomécanisme**: à partir des informations fournis par le calculateur, le servomécanisme commande la position de l'antenne.

- **L'interface Homme/ Machine**: L'interface Homme/Machine est un élément qui permet de commander le fonctionnement du radar d'une part, et d'en exploiter les informations d'autre part.

L'exploitation de ces informations se fait généralement sur oscilloscope cathodique sur lequel sont inscrites des informations (soit des informations brutes ou des informations synthétisées).

### I-3-3 Principes généraux du Radar :

Le terme radar est un non de code adopté au cours de la seconde guerre mondiale par l'US NAVY signifiant « radio détection and ranging » système de détection et télémétrie par radio.

**Radio** : le radar utilise des ondes radio électriques.

**Détection** : le rôle essentiel de radar est la détection c'est-à-dire la révélation de la présence d'une cible.

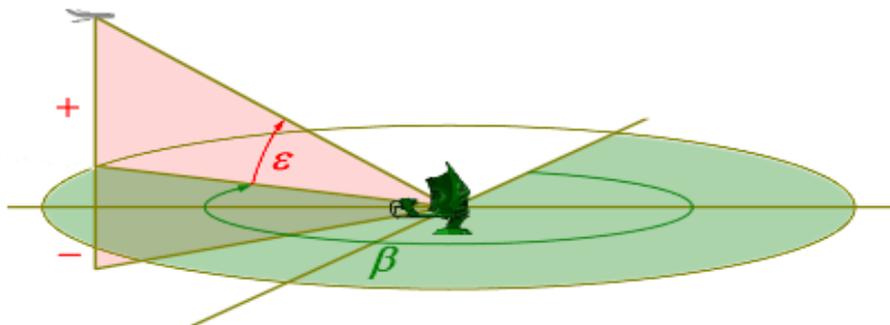
**Ranging** : indique les paramètres qui caractérisent la cible.

## 1-4 Notions sur les performances des radars :

### 1.4.1 Portée :

On appelle portée d'un radar, la distance maximale à laquelle on peut détecter ou poursuivre une cible donnée.  
 La distance est obtenue en général par la mesure de délai de transmission et de l'impulsion.

### 1.4.2 Localisation en angle :

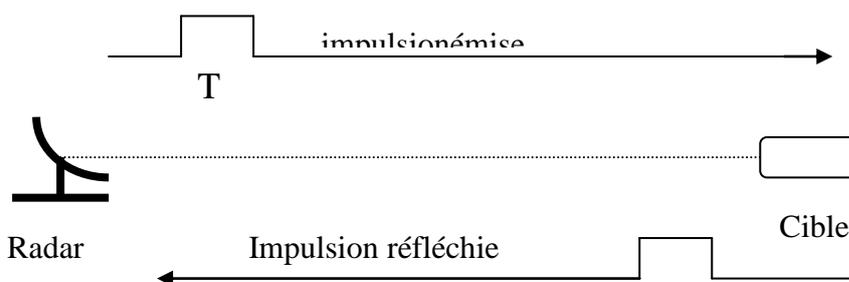


**Figure 1-4:** localisation en angle d'une cible

La directivité de l'antenne émettrice permet d'effectuer une localisation angulaire. L'antenne n'émet que dans un domaine angulaire restreint. Suivant l'écart relatif entre la direction vers laquelle est pointée l'antenne et celle de l'obstacle, l'intensité de l'écho capté varie et passe par un maximum lorsque ces deux directions sont confondues.

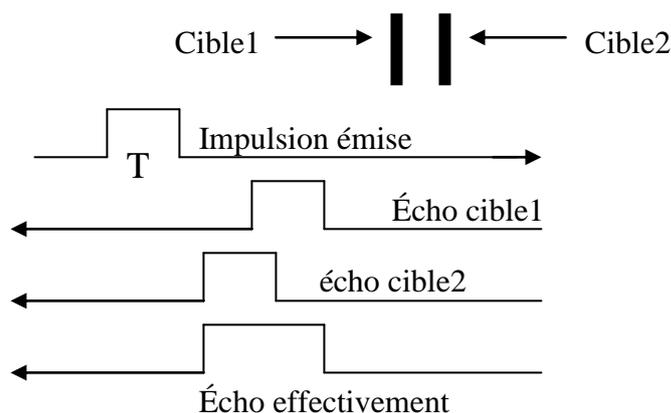
### 1.4.3 Localisation en distance :

Le retard dans la réception du signal retour permet d'opérer une localisation en distance (voir figure I.5).



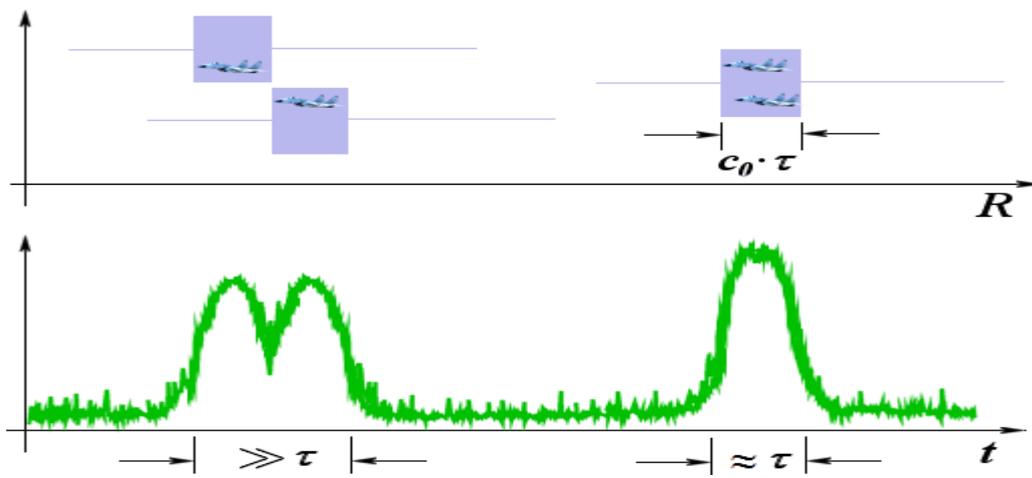
**Figure I.5 :** Localisation en distance  $T$

L'impulsion revient après un temps  $\tau(t) = 2 R / C$  où  $R_{est}$  la distance radar cible (t) est le temps de trajet radar cible aller et retour.



**Figure 1-6: Résolution en distance**

(La figure 1-6) montre qu'on a deux cibles situées dans la même direction mais à distances voisines. Ces deux cibles peuvent être discriminées que par la longueur  $\lambda_r$  de l'impulsion.  $\lambda_r$  est appelée la Résolution en distance radar. Cette résolution en distance dépend de la largeur de l'impulsion et donc de sa durée.



**Figure 1-7 : deux cibles situées dans la même direction mais à distances voisines**

la résolution en distance théorique d'un radar peut être calculée grâce à la formule suivante :

$$S_r \geq \frac{c_0 \cdot \tau}{2}$$

**1-5 L'effet Doppler :**

Lorsqu'une cible, éclairée par un émetteur radar et lorsqu'elle est mobile par rapport à ce dernier, soit parce qu'elle se déplace, soit parce que le radar se déplace, l'onde qu'elle renvoie vers celui-ci est affectée d'effet Doppler. Ceci peut être utilisé pour mesurer la vitesse relative radar cible, où pour caractériser celle-ci, si elle se déplace par rapport à son environnement. Considérons une antenne radar qui émet une onde de fréquence  $f_c$  que nous supposons pour le moment rigoureusement constant. S'il y a une cible à une distance  $D_0$ , celle-ci renvoie un écho qui donne à la sortie du récepteur du radar un signal de la forme :

$$S_0(t) = \cos\left(2\pi f_c t - \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2D_0\right) \quad (1.9)$$

Le terme  $(4 \pi \cdot D_0) / \lambda$  correspond au déphasage dû à la propagation le long du trajet aller-retour.

Au bout d'un temps  $t_1$ , la cible se trouve à une distance  $D_1$  et le signal reçu aura la forme suivante :

$$S_1(t) = \cos\left(2\pi f_e t - \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2D_1\right) \quad (1.10)$$

$V$  est la vitesse radiale de la cible ( $V$  sera positive si la cible se rapproche, négative si elle s'éloigne), nous aurons :

$$D_0 - D_1 = V t_1$$

On voit que  $S_1(t)$  et  $S_0(t)$  sont déphasés l'un par rapport à l'autre d'une quantité :

$$\Phi_1 = \frac{2\pi}{\lambda} 2(D_0 - D_1) = \frac{2\pi}{\lambda} 2V t_1 \quad (1.11)$$

Mais la variation de la phase  $\phi_1$  correspond à une variation de fréquence angulaire  $\omega$  .

Avec  $\phi_1 = \omega t_1$ , soit à une variation de fréquence  $f_d$  :  $\phi_1 = 2\pi f_d t_1$

D'où la fréquence doppler sera de la forme :  $f_d = \frac{2V}{\lambda}$

On a:  $f_d^{\oplus}$  ———> Cible se rapproche  
 $f_d^{\ominus}$  ———> Cibles'éloigne

**1-5-1 type du radar à impulsion (exemple) :**

Input			Output				
Taux	Pri	P_peak	dt	prf	pav	Ep	La portée
0.1	1	108.1	0.1	1	10.819	10.819	150000

A partir de l'impulsion généré par un radar nous pouvons calculer les paramètres suivant (le tableau au-dessus): calcule la valeur(**dt**), puissance transmise moyenne (**pav**), l'énergie d'impulsion(**ep**) et la fréquence de répétition des impulsions(**prf**).

**1-5-2la résolution du portée:**

Input	Output
La band passant B	R <sub>MAX</sub> (portée)
0.5.10 <sup>6</sup>	300
2.10 <sup>6</sup>	75

---

**R** : c'est la capacité de radar à localiser deux cibles très proches.

### 1-6 Equation du radar :

Considérons un radar, qui peut fonctionner en impulsions ou en ondes continues. Ce radar est équipé d'une antenne qui présente un gain  $G$ . Soit  $P$  la puissance totale rayonnée par l'antenne :  $P$  sera la puissance crête dans l'impulsion ou la puissance de l'onde continue. La puissance rayonnée par unité d'angle solide dans la direction où le gain est  $G$ , d'après la définition du gain :

$$P_1 = PG / 4 \Pi \quad (1.12).$$

A une distance  $R$  où se trouve une cible, cette puissance exprimée en  $W/m^2$  est :

$$P_2 = PG / 4 \Pi R^2 \quad (1.13)$$

Puisque l'angle solide unité découpe sur une sphère de rayon une Surface  $R^2$ .

Une partie de cette puissance incidente est rayonnée par la cible dans toutes les directions. Cependant si la cible était ponctuelle, elle renverrait dans l'espace une certaine puissance  $P_3$ , qui est proportionnelle à  $P_2$ , soit :  $P_3 = \sigma P_2$ .

$\sigma$  est appelé la surface équivalente radar (SER) de la cible par unité d'angle solide, nous aurons donc une puissance :

$$P_4 = P_3 / 4 \Pi = \sigma P_2 / 4 \Pi = PG \sigma / (4 \Pi R)^2 \quad (1.14).$$

Cette puissance  $P_4$  donne au niveau de l'antenne du radar une densité surfacique de puissance :  $P_4 = [ PG \sigma / (4 \Pi R)^2 ] [ 1 / R^2 ] W / m^2$ .

Pour la même raison que ci-dessus.

Cependant le gain  $G$  de l'antenne est lié à sa surface équivalente de réception ( $\Sigma_{eq}$ ) par relation :  $G = 4 \Pi \Sigma_{eq} / \lambda^2 \quad (1.15)$ .

De telle sorte que l'antenne se comporte, pour une onde plane comme une ouverture absorbante de surface :

$$\Sigma_{eq} = \lambda^2 G / 4 \Pi \quad (1.16)$$

Il s'ensuit que le signal  $S$  délivré par l'antenne est le produit de la densité de puissance  $P_4$  par  $\Sigma_{eq}$ , ce qui donne :

$$S = [ PG \sigma / (4 \Pi)^2 R^4 ] [ \lambda^2 G / 4 \Pi ]$$

Soit :

$$S = PG^2 \lambda^2 \sigma / (4 \Pi)^3 R^4 \quad (1.17)$$

➤ l'équation du radar faible PRF

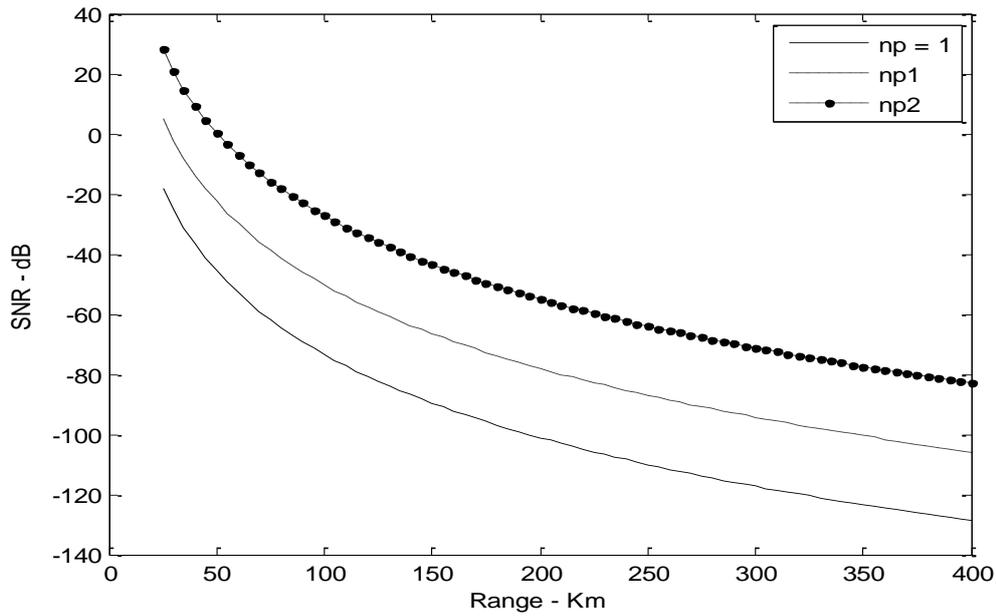


Figure 1.8. la sortie typique d'un radar PRF (la portée du radar en fonction de SNR )

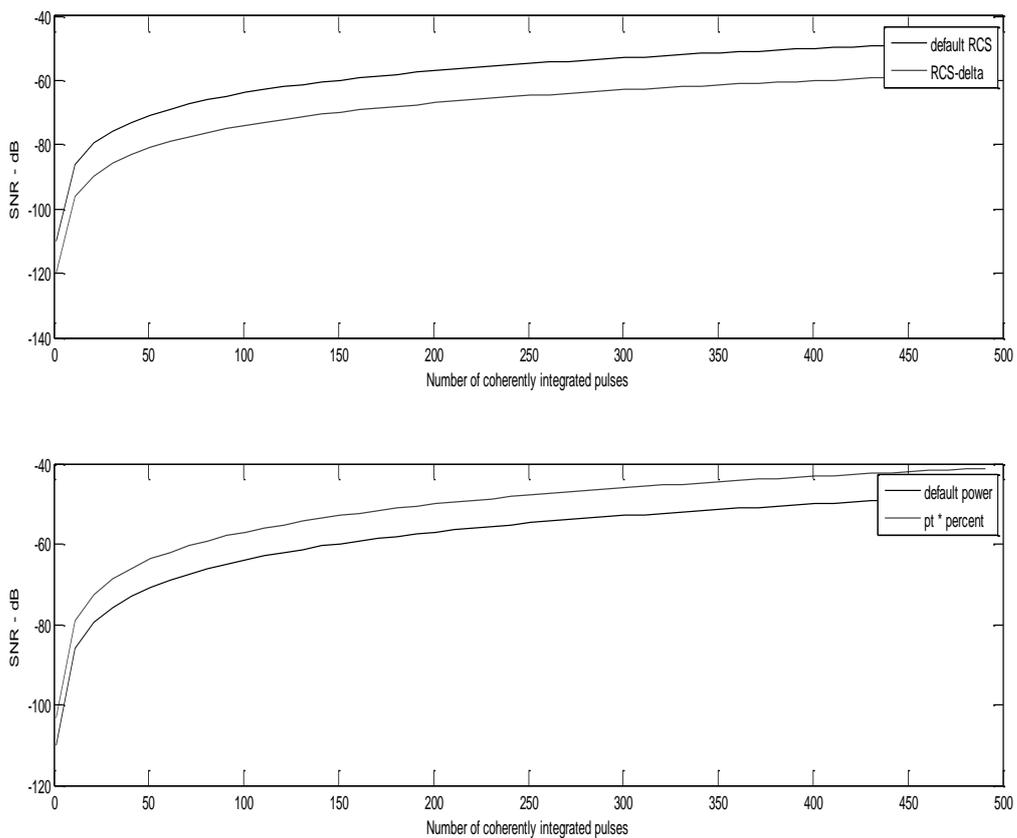
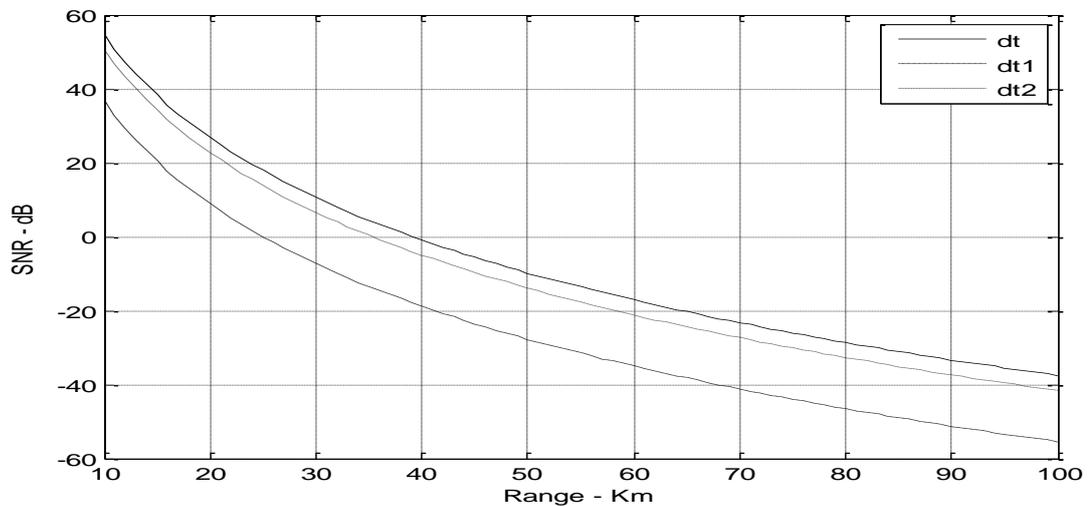


Figure 1.9. Les Sorties typiques du radar (le nombre des impulsions cohérente en fonction de SNR, RCS, puissance transmise)

➤ l'équation du radar à une haute PRF



**Figure 1.10. La sortie typique du radar(en fonctionSNR, R, dt(le nombre des impulsions dans une période PRI)**

### **1-7 Le bruit :**

Dans la réception du signal utile, un certain paramètre limite la sensibilité du radar, donc ils sont des facteurs gênant et il ne suffit pas d'évaluer la capacité de détection du radar à partir de la puissance reçue.

Ces paramètres sont appelés « bruit » ou parasites au sens général.

Un bruit est un phénomène aléatoire et gênant qui accompagne une information utile en le dénaturant.

Cette définition implique que le bruit est une notion subjective, ce qui est bruit pour l'un ne peut être bruit pour l'autre.

Les différents types de bruit sont :

- le bruit interne du radar ou bruit thermique
- les échos parasites dus à l'environnement naturel appelé (fouillis ou clutter)

#### **1-7-1 Le bruit thermique :**

Il est dû à l'agitation thermique des conducteurs et résistances. Il permet de limiter la sensibilité absolue du récepteur. On peut citer aussi des bruits qui se trouvent aux bornes d'un dipôle et des bruits générés par un quadripôle.

#### **1-7-2 Parasites extérieurs (Clutter) :**

---

Les échos parasites ce sont des échos de tout objet autre qu'une cible constituant un gêne, ils peuvent masquer l'écho utile. Ces échos repartis de façon plus ou moins aléatoire et plus ou moins dense sont désignés sur le non fouillis. L'usage du français lui a consacré le mot équivalent anglais de Clutter.

On a plusieurs types de Clutter citant quelques types :

- **Clutter atmosphérique :**

Ce clutter est dû à la réflexion des ondes sur les nuages, il est caractérisé par :

- une répartition volumétrique plus ou moins uniforme.
- une vitesse propre (celle du vent) suffisante pour qu'il se distingue du clutter de sol.

- **Clutter de sol :**

Le clutter du sol a des propriétés très différentes de celles du clutter atmosphérique :

- sa densité de probabilité suit une loi gaussienne.
- son spectre est généralement plus étroit, mais le niveau de rétro-diffusion est beaucoup plus fort de plusieurs ordres de grandeur supérieur au niveau des cibles utiles.

Le clutter de sol est caractérisé par un coefficient de rétro-diffusion qui dépend évidemment de la nature du sol et de la longueur d'onde.

- **Clutter de mer :**

Le clutter de mer est intermédiaire entre les deux précédents clutter, il suit une distribution log normale, en cas de mer moyenne ou faible (<4), il se rapproche du clutter atmosphérique. Par mer plus forte (>4) on l'assimile au clutter de sol et on utilise l'effet doppler. Il est caractérisé, comme le clutter de sol, par un coefficient  $\sigma_0$  sans dimension, variable avec la force du vent, de la mer et l'angle de dépression.

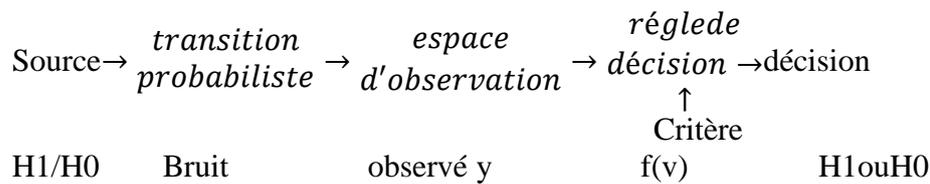
Cette partie a été réservée pour une introduction générale sur le radar et son principe de fonctionnement. Les progrès récents notamment les techniques utilisées ont contribué à élargir le domaine d'utilisation du radar. Son application s'est étendue à l'observation des missiles et des satellites, à l'exploitation de l'espace ... etc.

La détection par le radar se fait par simple principe, il suffit d'émettre au moyen d'une antenne un faisceau d'ondes électromagnétiques dans une direction souhaitée. Lorsque ces ondes rencontrent un objet elles s'y réfléchissent formant un « écho radar ». L'antenne capte le signal d'écho, ce signal va donc indiquer la présence de cible.

Mais le problème qui se pose lors de fonctionnement du radar est que différents types d'obstacles peuvent être gênants tel que le bruit, les parasites extérieures, les phénomènes naturels (pluie, nuage...).

## **1-9 Théorie de la détection :**

### 1-9-1 Position du problème :



**Figure 1.11. Position du problème**

Le but de la théorie de la détection est de choisir une règle de décision à partir d'un critère, qui associe à tout observé  $y$  de l'espace d'observation  $Y$  l'une des hypothèses  $H_0$  ou  $H_1$ .

La décision peut être prise après seulement  $N$  observations  $y_1, y_2, \dots, y_N$  de  $y$ . ce groupe d'observation peut être représenté comme un point  $y$  de l'espace d'observation défini par un vecteur à  $N$  dimensions.

Quel que soit  $N$ , le choix de la règle de décision sera déterminé si  $p(y/h_1)$  et  $p(y/h_0)$  sont connus.

Quatre cas sont possibles :

- décider  $H_1$ ,  $H_1$  émis                    il y a détection correcte
- décider  $H_1$ ,  $H_0$  émis                    il y a fausse alarme
- décider  $H_0$ ,  $H_1$  émis                    il y a manque
- décider  $H_0$ ,  $H_0$  émis                    il y a rejet correct.

Ces expressions sont surtout utilisées en Radar où l'hypothèse  $H_1$  correspond à la présence et  $H_0$  à l'absence de cible.

Des probabilités conditionnelles sont associées à chaque décision suivant la règle adoptée :

$$PD = P(H_1/H_1) \quad PM = P(H_0/H_1) = 1 - PD$$

$$PFA = P(H_1/H_0) \quad PRC = P(H_0/H_0) = 1 - PFA$$

Dans certains cas, existe une connaissance a priori de la source : les probabilités a priori des deux hypothèses  $H_1$  et  $H_0$ .

$$P(H_1) = P_1$$

$$P(H_0) = P_0$$

$$P_1 + P_0 = 1$$

### 1-9-2 Critère de décision de bayes :

La valeur  $y$  est observée dans l'espace  $Y$ .

Une règle de décision est une application de  $Y$  dans l'espace des décisions, binaire  $H_0$  et  $H_1$  dans le cas présent.

Il est logique, au sens économique, d'attribuer à décision un cout  $C_{ij}$ ,  $i$  et  $j$  indices de la décision prise et de l'hypothèse vraie. Aussi logiquement, le cout de l'erreur est supérieur à celui de la bonne décision :

$$C10 > C00$$

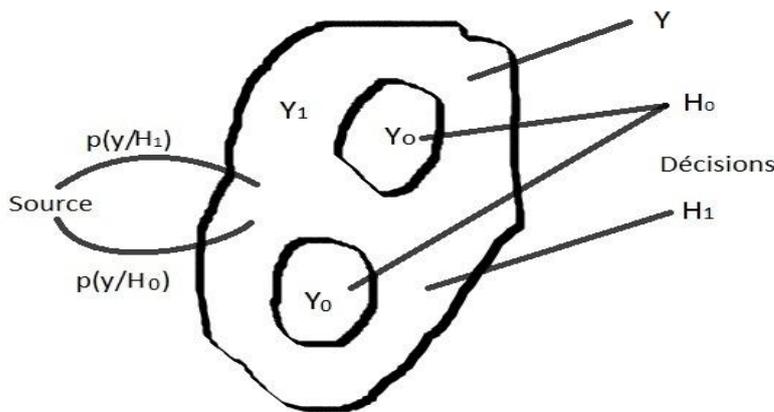
$$C01 > C11$$

Bayes a proposé comme critère de décision celui qui correspond au cout moyen le plus faible.

La valeur attendue du cout, appelée le risque R, s'écrit alors comme l'espérance mathématique de la fonction de cout :

$$R = C00P0 P(H0/H0) + C01P1P(H0/H1) + C10P0 P(H1/H0) + C11 P1P(H1/H1)$$

La règle consiste à diviser l'espace Y en deux sous-espaces Y1, et Y0 tels que à tout point y observé dans Y1, correspond la décision H1, et à tout point y observé dans Y0 correspond la décision H0.



**Figure 1.12. Sous-espace de décision**

expression du risque R peut alors s'écrire en fonction des densités de probabilités a posteriori  $p(y/H0)$  et  $p(y/H1)$  :

$$R = C00P0 \int_{Y0} p(y/H0) dy + C10P0 \int_{Y1} P(y/H0) dy + C11P1 \int_{Y1} P(y/H1) dy + C01P1 \int_{Y0} P(y/H1) dy$$

Avec  $Y = Y0 \cup Y1$        $Y0 \cap Y1 = \emptyset$  (ensemble vide)

Ou encore :

$$R = P0C00 \int_{Y0} P(y/H0) dy + P0C10 \int_{Y-Y0} P(y/H0) dy + P1C01 \int_{Y0} P(y/H1) dy + P1C11 \int_{Y-Y0} P(y/H1) dy$$

Par définition

$$\int_Y P(y/H0) dy = \int_Y P(y/H1) dy = 1$$

$$R = P0C10 + P1C11 + \int_{Y0} [P1(C01 - C11)p(y/H1) - P0(C10 - C00)P(y/H0)] dy$$

R comprend un cout fixe  $P_0C_{10}+P_1C_{11}$  et une intégrale sur  $Y_0$  qui représente le cout des point  $Y$  attribués à  $Y_0$ .

$C_{01} - C_{11}$  et  $C_{10}-C_{00}$  sont positifs, donc tout point  $y$  pour lequel  $P_0 (C_{10}-C_{00})p(y/H_0)$  est supérieur à  $P_1(C_{01}-C_{11})p(y/H_1)$  contribue négativement à la somme que représente l'intégrale et doit donc être attribué à  $Y_0$  (diminuer le risque). tout point  $y$  pour lequel le premier terme est supérieur a second contribuerait positivement à l'intégrale. il doit être exclu de  $Y_0$ , donc attribué à  $Y_1$

La meilleure décision est alors :

Si  $P_1 (C_{01}-C_{11}) p (y/H_1) \geq P_0 (C_{10}-C_{00}) p (y/H_0)$ , il faut attribuer  $y$  à  $Y_1$  et donc dire que  $H_1$  est vrai .dans le cas contraire. La décision  $H_0$  est prise.

Ce qui peut également s'écrire sous la forme :

$$A(y) = \frac{p(y/H_1) > H_1}{p(y/H_0) < H_0} \frac{P_0(C_{10}-C_{00})}{P_1(C_{01}-C_{11})}$$

$A(y)$  est appelé le rapport de vraisemblance de  $y$ . C'est un scalaire quel que soit le nombre de dimensions de l'espace  $y$ . comme  $A(y)$  est le quotient de deux variables aléatoires, il est lui-même une variable aléatoire.

Le critère de Bayes compare  $A(y)$  à un seuil  $\eta = \frac{P_0(C_{10}-C_{00})}{P_1(C_{01}-C_{11})}$

$A(y)$  ne dépend ni des probabilités a priori ni des couts attribués. Il est donc possible de le calculer tout en gardant  $\eta$  comme un paramètre mobile que l'on chargera en fonction des couts et connaissances a priori.

Exemple 1 :  $H_1 \rightarrow m$  bruit Gaussien blanc additif, à bande limitée

$H_0 \rightarrow 0$

$$p(n) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{n^2}{2\sigma^2}\right]$$

$Y_i = m + n_i$  si  $H_1$ ,  $y_i = n_i$  si  $H_0$ .

$N$  observations sont faites donnant les valeurs  $y_i$  (ide 1 à  $N$ ).

Les densités de probabilité conditionnelles s'écrivent facilement :

$$P(y_i/H_1) = p(y_i - m) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(y_i - m)^2}{2\sigma^2}\right]$$

$$P(y_i/H_0) = p(n_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{y_i^2}{2\sigma^2}\right]$$

Les échantillons successifs sont indépendants (bruit blanc) :

$$P(y_1, y_2, \dots, y_N/H_1) = \prod_{i=1}^N p(Y_i/H_1)$$

$$P(y_1, y_2, \dots, y_N/H_0) = \prod_{i=1}^N p(Y_i/H_0)$$

$$\eta_{<H_1}^{>H_0} A(Y) = \frac{\prod_{i=1}^N (2\pi)^{-0.5} \sigma^{-1} \exp\left[-\frac{(y_i - m)^2}{2\sigma^2}\right]}{\prod_{i=1}^N (2\pi)^{-0.5} \sigma^{-1} \exp\left[-\frac{y_i^2}{2\sigma^2}\right]} = \exp\left[\frac{2m \sum_{i=1}^N y_i - Nm^2}{2\sigma^2}\right]$$

Ou encore:

$$\sum_{i=1}^N y_i \frac{\sigma^2}{m} \log \eta + \frac{Nm}{2} = \gamma$$

## 1-10 Théorie de L'estimation :

### 1-10-1 Position du problème :

Pour comprendre le message reçu ou mesurer les paramètres de l'écho le problème à résoudre est suivant :

L'hypothèse sur la source n'est pas binaire. Le signal émis dépend d'un paramètre  $\alpha$ , inconnu, le but de la théorie de l'estimation est de définir les moyens de calcul à mettre en œuvre pour, à partir d'un nombre N de test et d'un critère sur l'erreur, estimer avec l'erreur la plus faible possible la valeur de  $\alpha$ . La figure 1.13 décrit le mécanisme de l'observation.

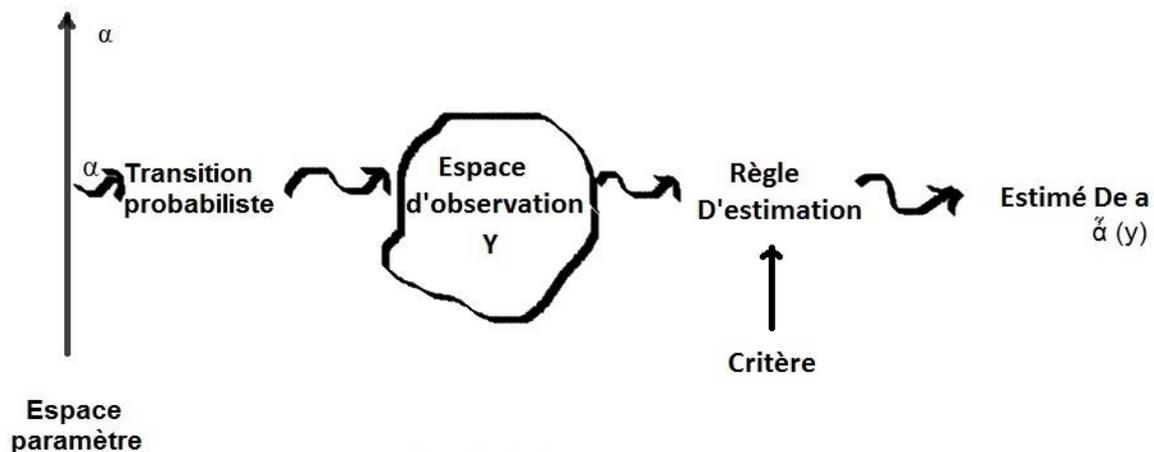


Figure 1.13 Schéma de la liaison

Les différences par rapport à la théorie de la détection concernent :

- La source, espace à une dimension.
- La règle d'estimation qui délivre  $\hat{\alpha}(y)$  résultat de l'application de l'espace d'observation dans l'espace des estimés de  $\alpha$ .

Comme pour la théorie de la détection, il est nécessaire d'avoir une connaissance a priori de la transition probabiliste et de l'espace paramètre. Les hypothèses suivantes sont faites:

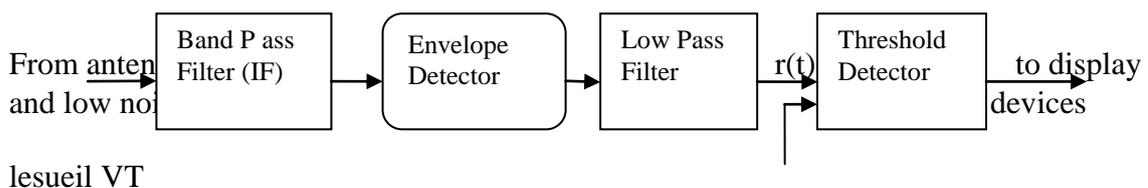
- $\alpha$  est identique sur les N observations.

- La densité de probabilité du bruit,  $p(n)$ , est connue ainsi que son mode action (additif, multiplicatif, etc.).
- Le paramètre  $\alpha$ :
  - est une variable aléatoire, de densité probabilité  $p(\alpha)$  connue, se qui veut dire que nous avons une connaissance a priori de sa valeur qui est cette densité de probabilité (Pyramide des âges en France, par exemple) ;
  - est une valeur fixe mais inconnue (valeur de  $\pi$  avant que les ordinateurs ne s'en mêlent).

## 2- Partie de la Simulation :

### 2-1 Introduction:

Dans cette partie nous avons simulé notre system de radar au niveau de la réception, on se base sur la théorie de bayes pour faire une décision sur la présence ou l'absence d'une cible. Ce schéma illustre un block simple de détection du radar

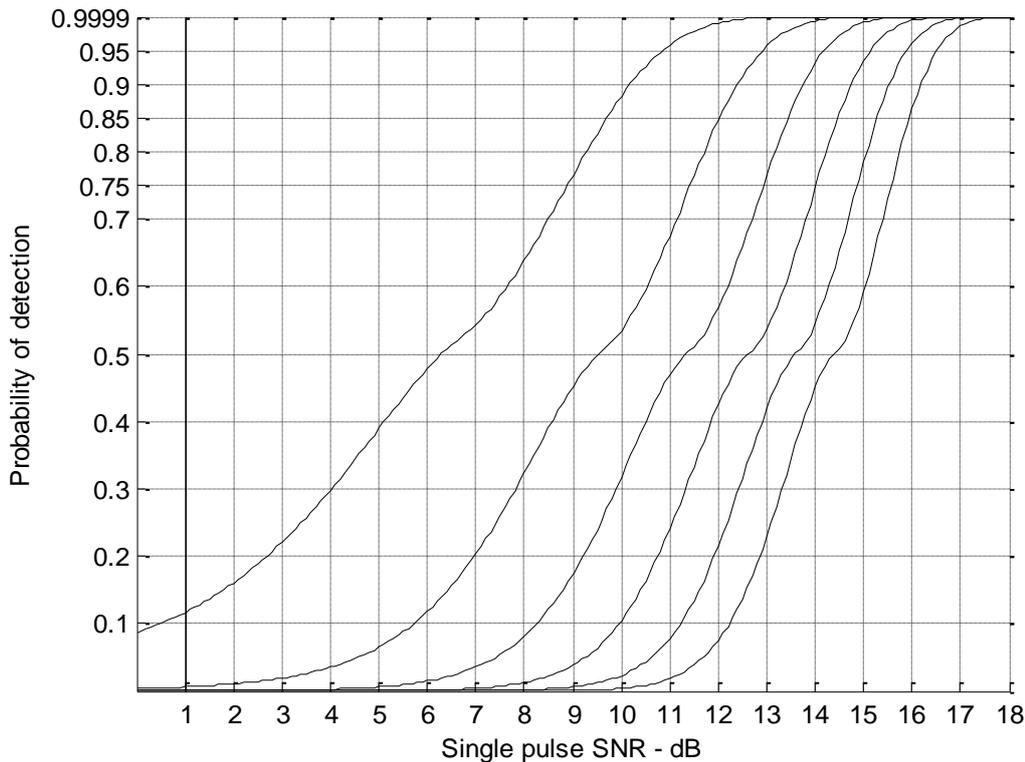


**Figure 2.0. Un schéma simple d'un récepteur radar**

### 2-2 intégrations cohérentes :

Un radar cohérent est celui dont les impulsions transmises débutent toujours à la même phase de leur cycle de référence, considérons le cas où le radar signal de retour contient à la fois signal plus bruit additif.

il est dit *cohérent*. L'intégrateur accumule ainsi jusqu'à  $N$  impulsions revenant du même endroit. Une fois qu'il a atteint  $N$  impulsions, les impulsions suivantes éliminent les plus anciennes dans la liste. L'intégrateur peut donc calculer la moyenne mobile à chaque distance de résolution et la comparer au seuil de réflectivité pour ces points.



**Figure 2.1. La probabilité de détection en fonction le SNR d'une impulsion sous différents de valeur pfa**

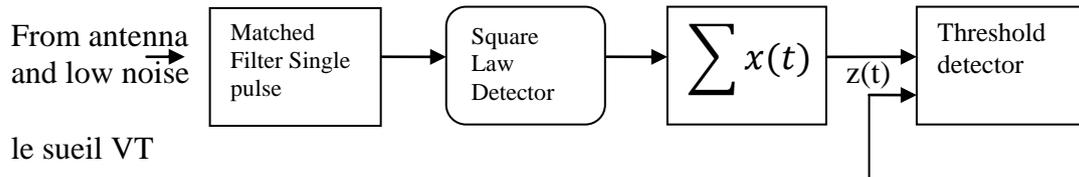
(Figure 2.1) montre qu'il y a une relation proportionnelle entre la probabilité de détection PD et le rapport de signal impulsion SNR sous différents valeurs de Pfa.

Le bruit dans chaque impulsion suit une probabilité gaussienne et centrée sur zéro, les échantillons étant non corrélés. Ce bruit a donc les mêmes propriétés statistiques que celui du signal sortant du filtre adapté d'un amplificateur de fréquence intermédiaire (FI). En prenant pour acquis que l'intensité des signaux entrant dans l'intégrateur cohérent est assez constant d'une impulsion à l'autre, ceci correspond aux cas de cibles de Swerling 1, 3 ou 5. Chaque valeur correspond à une densité de probabilité pour un type de cible particulier et la somme des signaux, tel que décrit antérieurement, donne un rapport signal sur bruit (S/N) de N fois le rapport tiré de l'équation du radar pour la portée correspondante.

L'intégration cohérente n'offre aucun bénéfice pour les cas de cibles très fluctuantes des types Swerling 2 et 4, car les signaux provenant de ces types de cibles se comporte comme du bruit.

### 2-3 Intégration Non-Cohérent :

Un radar incohérent est celui dont les impulsions ont une phase aléatoire. Un schéma synoptique d'un récepteur radar utilisant un détecteur de loi du carré et l'intégration non cohérente est illustrée à la figure. 2.2.

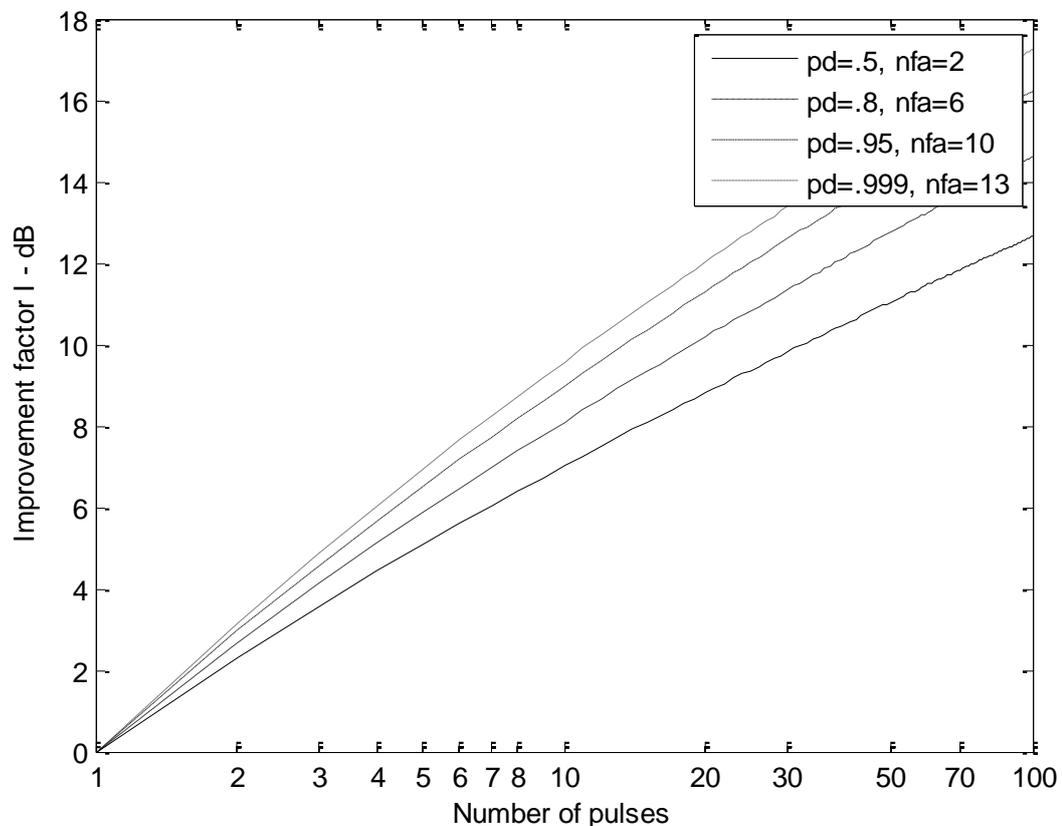


**Figure 2.2. Emplacement de l'intégrateur non cohérent**

En plaçant l'intégrateur après le détecteur d'amplitude et de phase du signal, comme dans la figure 2, cette dernière est perdue et le signal n'analyse seulement que l'amplitude qui varie d'un écho à l'autre sans corrélation. C'est pourquoi cette intégration est dite *incohérente*.

L'intégrateur fonctionne de la même façon que celui cohérent. Dans les radars plus anciens, l'intégration utilisait la persistance de luminosité de l'écran d'affichage, l'opérateur pouvant percevoir les variations d'intensité des échos. Plus tard, on utilisa un détecteur dit *m-de-n* qui se servait d'un circuit électronique analogique déclarant un écho comme une cible si *m* échantillons de *n* étaient plus intenses qu'un seuil déterminé.

Un troisième type utilise un sommateur, une unité fonctionnelle dont la variable de sortie est égale à la somme, ou à une somme pondérée, des variables d'entrée. Il s'agit en général d'un filtre passe-bas dans les radars analogiques et d'un compteur numérique dédié dans les radars plus récents (similaires à ceux des intégrateurs cohérents)



**Figure 2.3. Facteur d'amélioration sous différents des nombre d'impulsions (intégration non-cohérent).**

(Figure 2.3) montre qu'il y a une relation proportionnelle entre les valeurs de facteur d'amélioration et le nombre d'impulsions, nous avons aperçus que la probabilité de détection augmente le nombre de fausse alarme augmente aussi.

#### 2-4 Tableau des grandeurs utilisées dans le system du RADAR :

Symbole	Description	Unité
PD	Probabilité de détection	None
snr	Rapport du signal sur bruit	dB
nfa	Le nombre Marcum's false alarme	None
pfa	Probabilité du fausse alarme	None
delta_R	la résolution du portée	M
dt	cycle de service	None
prf	la fréquence de répétition des impulsions	Hz
np	Le nombre d'intégration des impulsions	None
ep	l'énergie d'impulsion	Joule
Impr_of_np	Facteur d'amélioration	dB
pav	puissance transmise moyenne	watt

#### 2-5 Conclusions:

Ces simulation permet de quantifier les résultats de probabilité de la détection pour la présence de la cible, mais il y a un problème de nombre de fausse alarme, parce que quand la probabilité de détection (PD) augmente le nombre de fausse alarme (nfa) augmente aussi.

---

### **3- Références Bibliographique :**

- 1- M.I. Skolnik. «Introduction to radar systems». Mc Graw-Hill, New-York, 1980.
- 2- M. Carpentier. «Radars bases modernes». Edition Masson, 1981.
- 3- L.Thourel. «Initiation aux techniques modernes des radars».Cépadues Editions, 1982.
- 4- A. Bachir « détection de cibles radar par HMM et par Réseaux de neurones »  
Mémoire de Magister 2002.