

Chapitre IV

Détection adaptative CFAR

I- Introduction

La détection est l'opération qui consiste à prendre une décision sur la présence ou l'absence d'une cible en comparant le signal reçu à un certain seuil dépendant de la fausse alarme désirée.

- Si le signal utile dépasse le seuil, la cible est détectée.
- Si le bruit dépasse le seuil en absence du signal écho, on dit que c'est une fausse alarme.

La probabilité de fausse alarme est très sensible aux changements de la variation de la puissance du bruit, c'est pour cette raison que l'utilisation d'un seuil fixe à la détection classique n'est pas applicable. Une augmentation de la probabilité de fausse alarme d'un facteur de l'ordre de 10^{-4} est provoquée à cause d'une petite augmentation dans la puissance du bruit de l'ordre de 3 dB comme il est montré sur la figure VI-1.

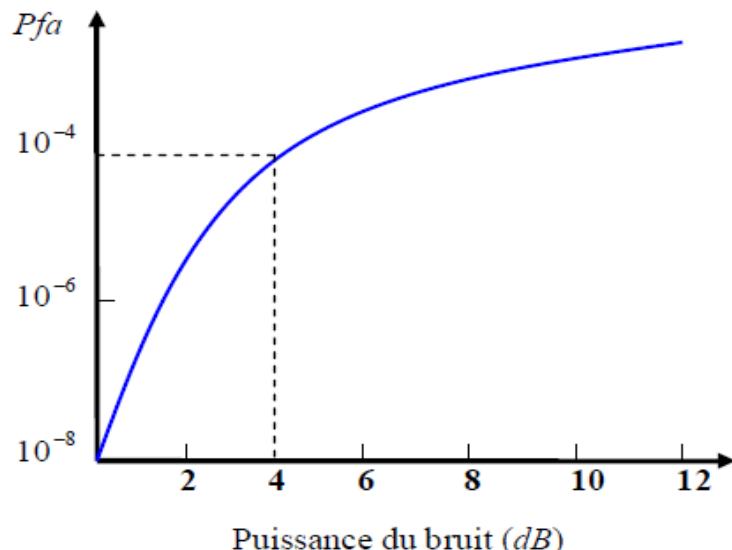


Figure VI.1 : Effet de l'augmentation de la puissance du bruit sur la probabilité de fausse alarme.

II- Principe de la détection dans un système radar

II-1 détection à seuil fixe :

Le principe de la détection pour un système radar est basé sur l'utilisation d'un seuil de comparaison servant à extraire des informations du signal reçu et à distinguer une fluctuation due au bruit à celle due à un signal utile. Ce seuil peut être fixé manuellement ou déterminé par un circuit de traitement de signaux radar. Tout signal dont l'amplitude est supérieure à celle du seuil est considéré dû à la cible sinon on suppose qu'on est en présence de bruit (voir figure IV.2).

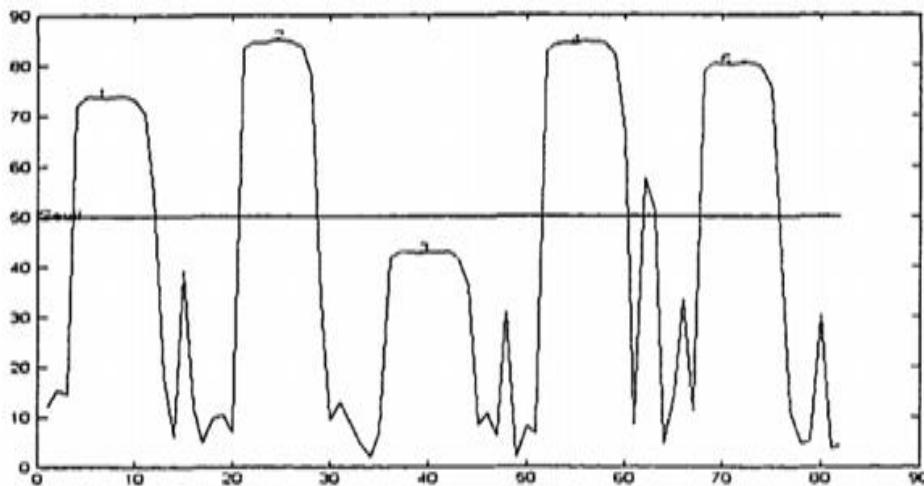


Figure VI.2 : Processus de détection.

Ce type de décision n'est cependant pas toujours justifié. En effet, le dépassement du seuil peut être effectivement dû au signal mais il peut aussi être causé par une grande augmentation accidentelle de l'amplitude du bruit. On fait alors une mauvaise détection en déclarant la cible présente.

- Déclarer qu'une cible est présente quand le dépassement du seuil est dû effectivement à la cible est appelé détection valide P_d .
- Lorsque ce dépassement est dû uniquement au bruit, on parle de fausse alarme P_{fa} .
- Il est possible que le signal de la cible soit présent mais que son amplitude ne dépassant pas la tension seuil, ne soit pas détecté. Cette condition est appelée détection de cible manquée P_m (Probability of miss) ($P_m = 1 - P_d$).

Considérons l'entrée du détecteur de la figure (IV.3) représentant six périodes de transmission d'impulsions. On constate que l'enveloppe a une apparence fluctuante due à la nature aléatoire du bruit.

Soient V_{T1} , V_{T2} et V_{T3} trois seuils de détection choisis tel que V_{T1} et V_{T2} sont respectivement proches des amplitudes maximales et moyennes des impulsions, et V_{T3} de la moyenne du bruit. On remarque que :

- V_{T3} détecte toutes les impulsions mais détecte aussi des pics dus au bruit (ex: pic A).
- V_{T2} permet de détecter le maximum d'impulsions avec un taux réduit de fausses alarmes.
- Un seuil d'ordre V_{T1} par contre permet seulement de détecter des impulsions de grandes amplitudes.

Certes le nombre de fausses alarmes est presque inexistant mais des impulsions d'amplitudes moyennes ne sont pas détectées. On conclut que plus le seuil de détection est faible, plus P_{fa} et P_d sont grandes. Pour réduire P_{fa} et garder P_d relativement grand, il faut fixer un seuil supérieur à la moyenne du bruit. Cependant un seuil trop élevé même s'il réduit P_{fa} peut aussi réduire P_d et augmenter P_m .

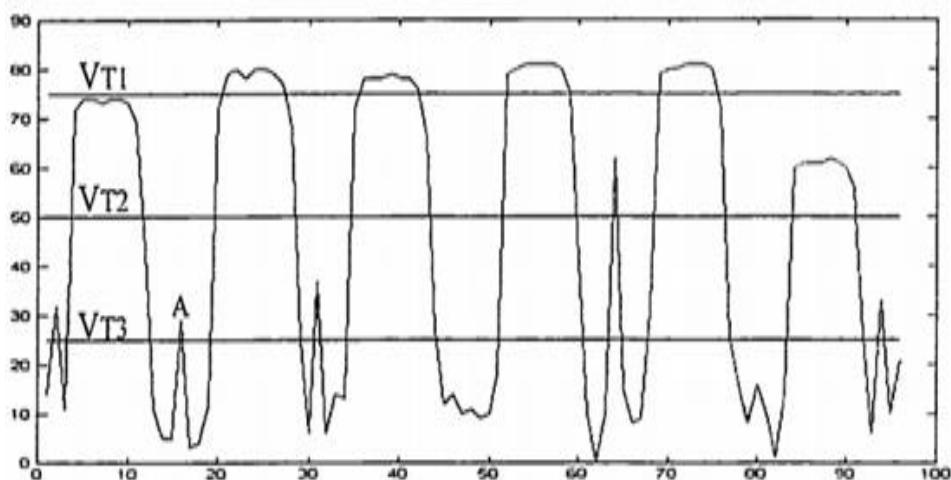


Figure IV.3 : influence du seuil de détection

II-1 détection à seuil adaptatif

La probabilité de fausse alarme est très sensible aux changements de la variation de la puissance du bruit et elle est inversement proportionnelle au seuil de détection. Donc si le seuil est trop élevé, les cibles peuvent ne pas être détectées, et s'il est trop bas la probabilité de fausse alarme augmente comme il est indiqué sur la figure IV.4.

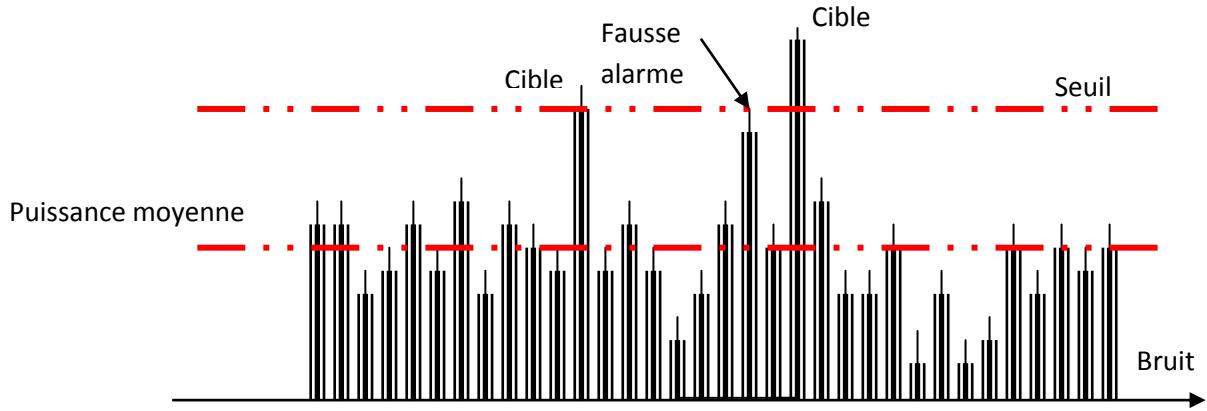


Figure VI.4 : Détection d'une cible.

Dans un radar, le signal utile est toujours accompagné du bruit. Si le niveau du bruit présente des variations assez lentes, on peut modifier lentement le seuil pour maintenir la probabilité de fausse alarme constante, mais ceci devient très difficile lorsque les variations du niveau du bruit sont rapides. Actuellement on utilise des récepteurs (CFAR) «Constant False Alarm Rate», ce qui signifie une détection à taux de fausse alarme constante (TFAC), qui permettent de prendre une décision sur la présence et l'absence d'une cible selon la mesure du bruit obtenue.

III- Technique de détection CFAR

L'idée de la technique CFAR (Constant False Alarm Rate) est de réaliser un système adaptatif capable de détecter une cible en utilisant un taux de fausse alarme constant, quels que soient les signaux parasites qui existent. En effet, le principe du CFAR est d'utiliser quelques échantillons du bruit pour pouvoir l'estimer et établir un seuil de détection qui s'adapte à ses fluctuations (voire la Figure 4.5).

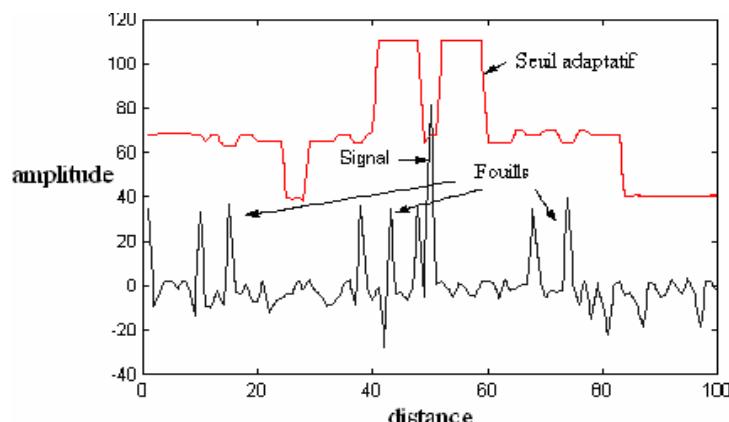


Figure IV.5 : Détection CFAR adaptative.

Le seuil fixe peut causer beaucoup de fausses alarmes et réduire ainsi la probabilité de détection, pour cela la technique CFAR utilisant un seuil adaptatif est proposée. .

Le CFAR est un modèle qui se place dans la partie traitement du signal du récepteur radar après réception et démodulation des échos radar, ceux-ci parcourront une série de cellules.

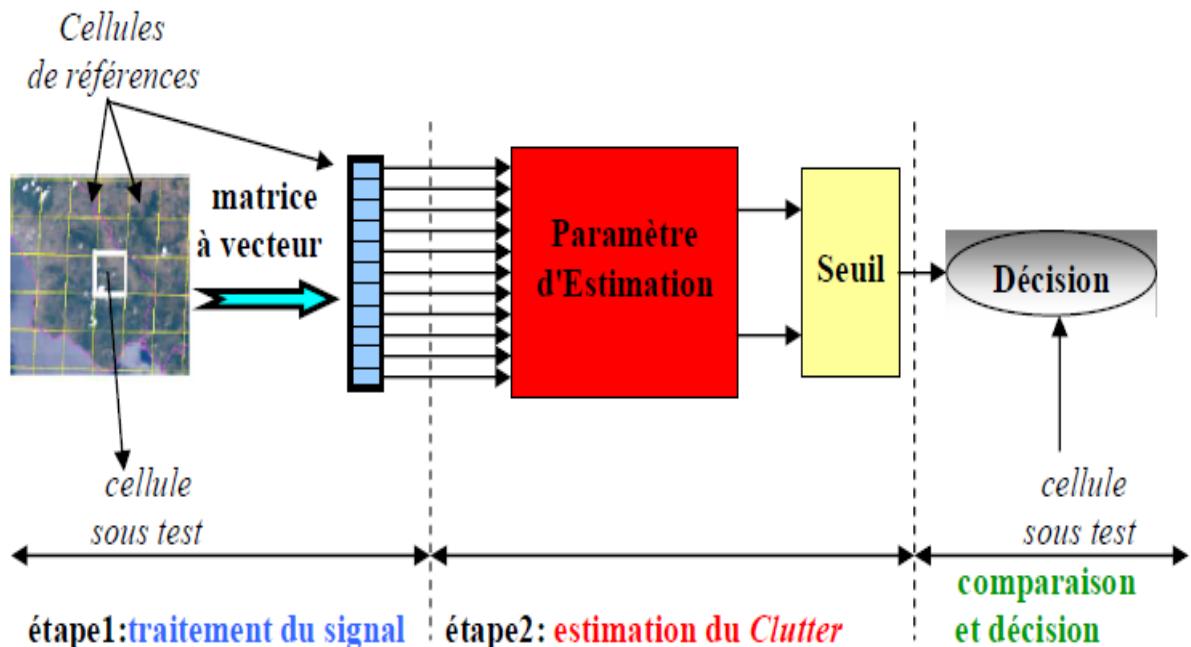


Figure IV.6 : Schéma d'une chaîne de détection CFAR.

La Figure IV.7 représente le schéma bloc d'un détecteur CFAR. Les cellules sont divisées en deux fenêtres U et V entourant ainsi la cellule test. Les cellules contenues dans les deux fenêtres sont appelées cellules de référence. Un algorithme est appliqué pour le calcul du seuil de détection.

- La première étape de l'algorithme consiste à calculer la valeur du test statistique qui est obtenue à partir des N cellules de références. On obtient alors N échantillons donnant le niveau du bruit utilisé pour le calcul du seuil de détection.
- La deuxième étape de l'algorithme consiste à multiplier la valeur fournie par le test statistique X par un facteur de seuil T .
- La sortie de la cellule test est ensuite comparée avec le seuil résultant TX pour décider de la présence ou de l'absence d'une cible.

T Représente un facteur constant utilisé pour maintenir la fausse alarme à une valeur désirée constante pour une fenêtre de taille N .

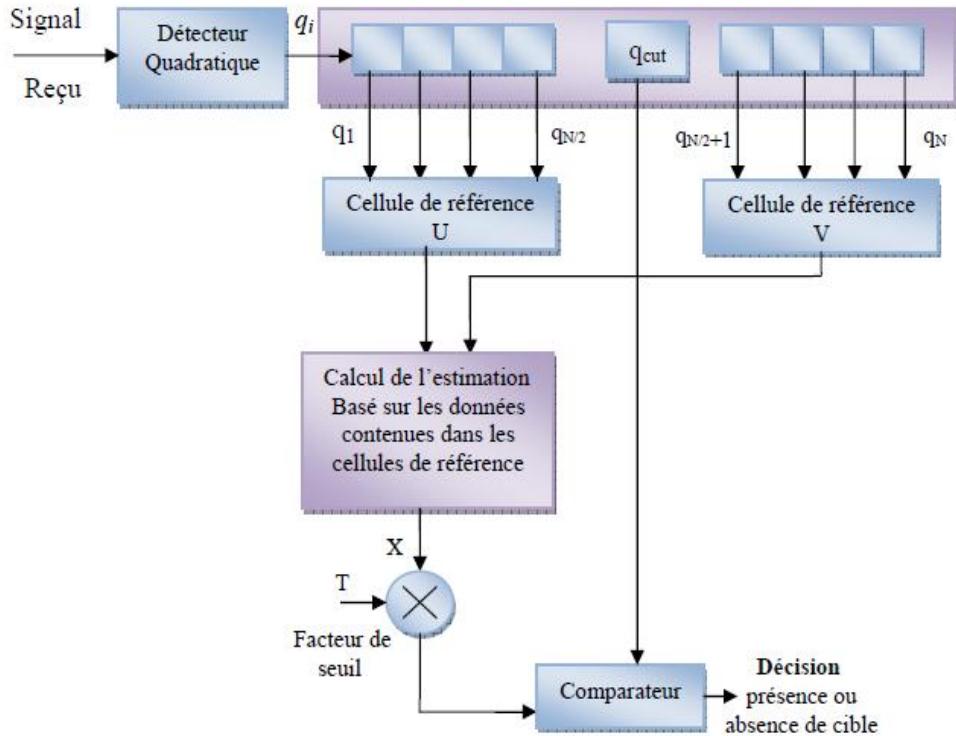


Figure IV.7: Schéma bloc du détecteur CFAR.

IV- DéTECTEURS CFAR

IL existe plusieurs procédés de détection CFAR, dont la différence réside dans la méthode retenue pour effectuer l'estimation de la puissance du clutter selon le type d'environnement. C'est-à-dire le calcul de l'estimation noté X selon le schéma de la figure IV.7.

Le premier détecteur CFAR mis en œuvre, est le détecteur CA-CFAR (Cell Averaging CFAR), il est employé dans le cas où l'environnement est homogène. Dans le cas d'un environnement non-homogène, c'est-à-dire que, certaines cellules contiennent des interférences, la probabilité de détection du détecteur CA-CFAR se dégrade considérablement. Des détecteurs CFAR modifiés, ont été proposés pour s'adapter à cette situation. Le premier type de ces détecteurs est le détecteur GO-CFAR qui a des capacités de régulariser la probabilité de fausse alarme et améliorer les performances.

Dans le cas où des signaux interférents sont présents, les performances du détecteur CA-CFAR sont sérieusement affectées. Pour cela, le détecteur OS-CFAR, basé sur le seuillage à statistique ordonnée a été proposé. Ce détecteur est moins sensible à la perte de détection.

VI-1 CA-CFAR: Cell Averaging CFAR

Proposé par Finn et Johnson, Le principe de ce détecteur consiste à faire une moyenne des valeurs contenues dans les différentes cellules de références (figure IV-8). Le test statistique du CA-CFAR est donné par:

$$x = \frac{q_{CUT}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N q_i} \quad (4.1)$$

Les probabilités de fausse alarme et de détection sont données comme suit:

$$P_{fa} = \frac{1}{(1+T)^N} \quad (4.2)$$

$$P_d = \frac{1}{\left(1 + \frac{T}{1+SNR}\right)^N} \quad (4.3)$$

Il existe plusieurs variantes du détecteur CA-CFAR pour lesquelles on prend soit le maximum soit le minimum des deux fenêtres, on trouve alors respectivement les détecteurs GO-CFAR et SO-CFAR.

VI-2 GO-CFAR: Greatest of CFAR

Le détecteur GO-CFAR proposé par Hansen et sawyers, utilise le maximum des sommes des sorties des deux fenêtres (figure IV-8)

VI-3 SO-CFAR: Smallest of CFAR

Le détecteur SO-CFAR proposé par Trunk utilise le minimum des sommes des sorties des deux fenêtres (figure IV-8).

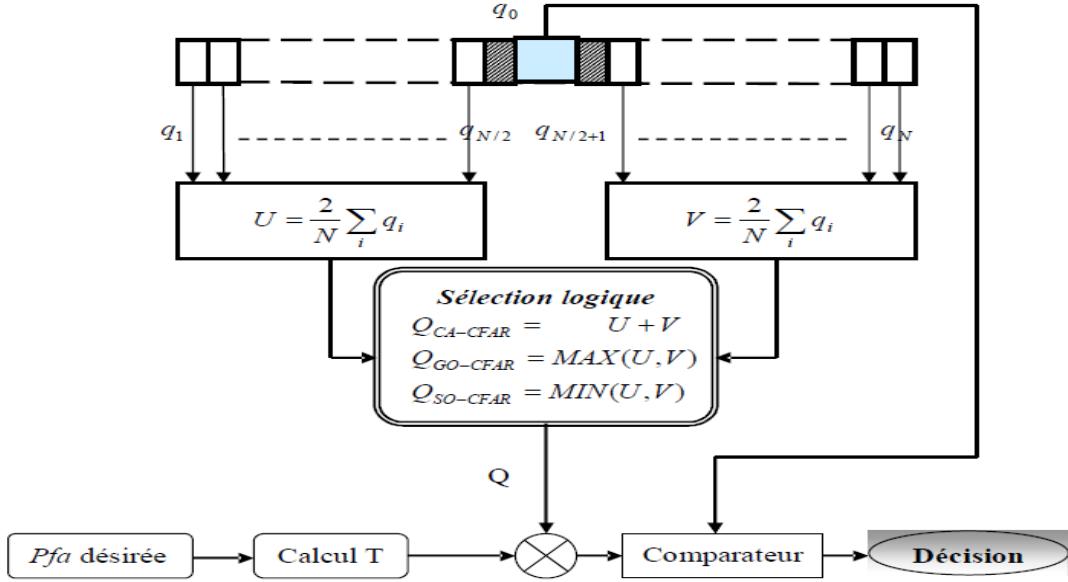


Figure IV-8 : DéTECTEURS CA, GO et SO-CFAR.

VI-2 OS-CFAR: Order statistic CFAR

Proposé par Rohling, le principe de l'ordre statistique est d'ordonner les échantillons contenus dans les cellules de référence, puis la $K^{\text{ème}}$ plus grande valeur est sélectionnée. Ce rang est choisi de manière à maximiser la probabilité de détection.

Le test statistique x est donc donné par :

$$x = \frac{q_{cut}}{q_{(k)}} \quad (4.4)$$

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

$$P_{fa} = \prod_{i=0}^{K-1} \frac{(N-i)}{(N-i+T)} \quad (4.5)$$

$$P_d = \prod_{i=0}^{K-1} \frac{(N-i)}{(N-i + \frac{T}{1+SNR})} \quad (4.6)$$

SNR : représente le rapport signal sur bruit (signal to noise ratio).

N : est le nombre de cellules de référence.

T : est un coefficient dépendant de la fausse alarme désirée et représente le seuil de détection.

VI-2 CMLD-CFAR: Censored Mean Level CFAR

Rickard et Dillard ont proposé le CMLD afin d'éliminer les échantillons supérieurs à l'échantillon K (de l'ordre statistique) et de faire l'estimation à base des échantillons restants.

$$x = \sum_{i=1}^k q_i \quad (4.7)$$

Les probabilités de fausse alarme et de détection sont données comme suit:

$$P_{fa} = C_N^K \prod_{i=1}^K \left(T + \frac{N-i+1}{K-i+1} \right)^{-1} \quad (4.8)$$

$$P_d = C_N^K \prod_{i=1}^K \left(\frac{T}{1+SNR} + \frac{N-i+1}{K-i+1} \right)^{-1} \quad (4.9)$$

La figure IV-9 illustre le principe des deux détecteurs OS et CMLD CFAR.

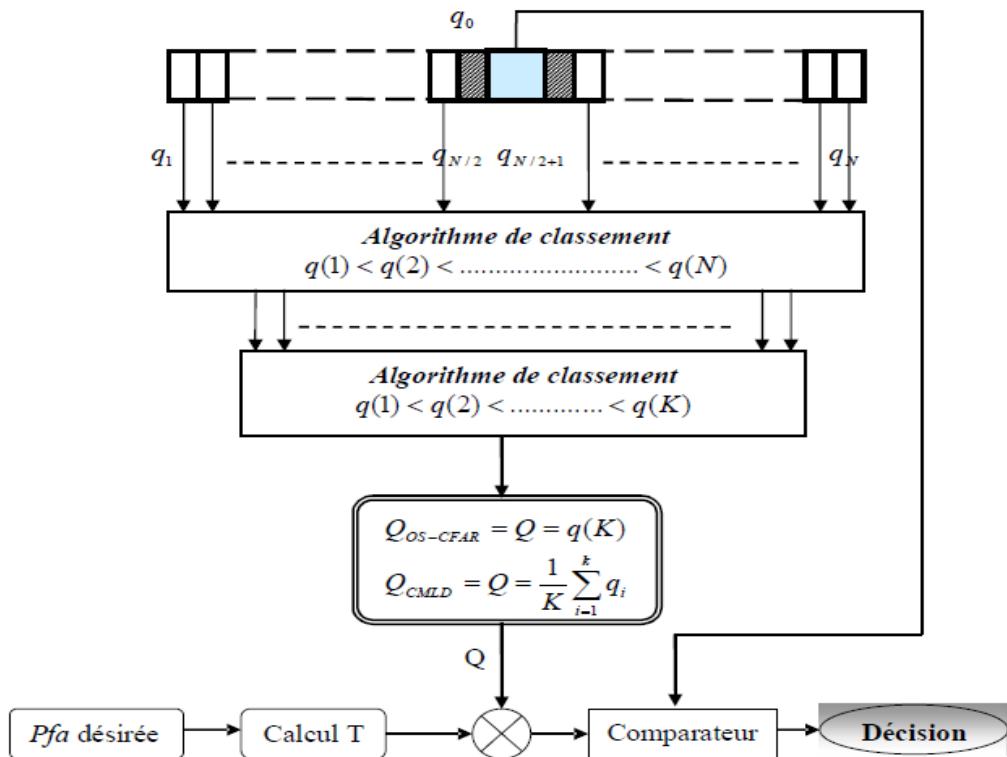


Figure IV-9 : DéTECTEURS OS ET CMLD CFAR.