

Les Jeudis de la COM'

Applications de l'échantillonnage aléatoire pour la Détection Spectrale (Spectrum Sensing) dans le contexte de la radio cognitive

Année Universitaire: 2013/2014

Présenté par: Hayat SEMLALI
Encadré par: - Mr. Jean François DIOURIS
- Mr. Abdelilah GHAMMAZ
- Mr. Abdallah SOULMANI

Plan

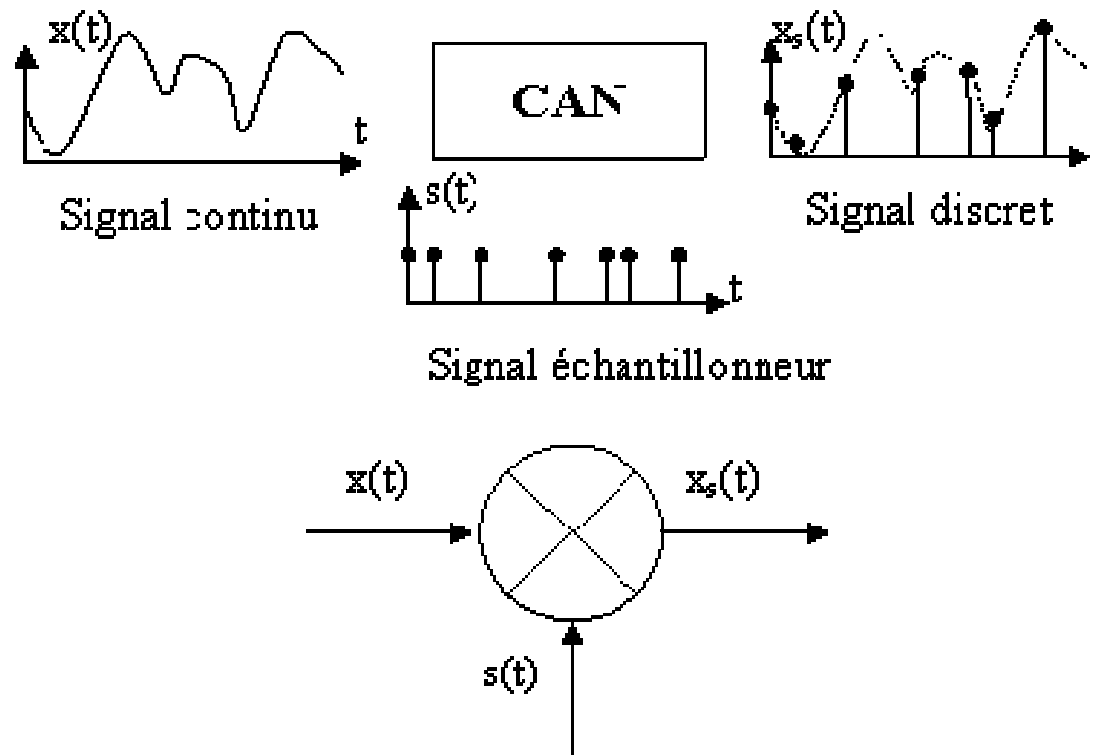
- Introduction
- Processus de l'échantillonnage aléatoire
- Contraintes de l'échantillonnage uniforme sur les signaux multi-bandes
- Quelques raisons justifiant l'application de l'échantillonnage aléatoire
- Reconstruction des signaux aléatoirement échantillonnés
- Détection spectrale appliquant l'échantillonnage aléatoire dans le contexte de la radio cognitive
- Applications et résultats des simulations
- Conclusion

Objectif

La travail consiste à faire des applications pour l'estimation spectrale (spectrum sensing) dans le contexte de la radio cognitive et à montrer que l'application de l'échantillonnage aléatoire permet de s'affranchir la contrainte des bandes interdites imposée dans le cas d'un processus uniforme.

Processus d'échantillonnage

- Principe de l'échantillonnage irrégulier:



➤ Domaine Temporel : $x_s(t) = x(t) s(t)$

➤ Domaine fréquentiel : $W_{xs}(f) = W_x(f) * W_s(f)$

Contraintes d'échantillonnage uniforme pour les signaux multi-bandes

- Cas d'un signal réel à 3 bandes:

Bande effective :

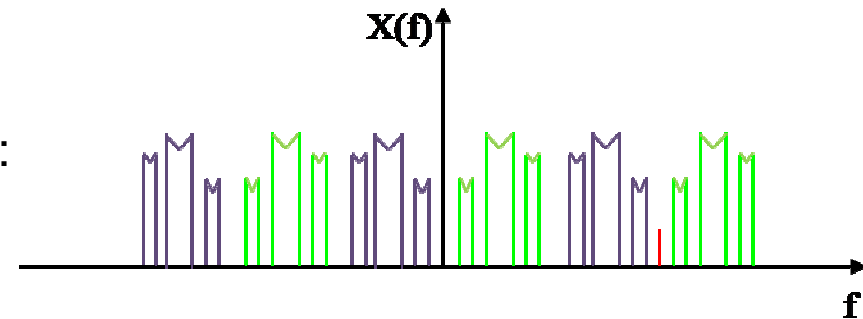
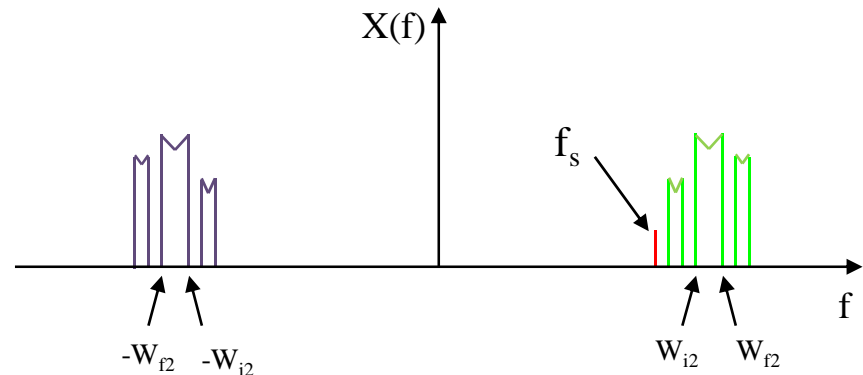
$$I = \cup I_i$$

Largeur de la bande effective :

$$B = 2 \sum_k (w_{fk} - w_{ik})$$

Fréquence d'échantillonnage minimale :

$$f_{\text{emin}} = B$$



**Absence de repliement de spectre
(contrainte d'échantillonnage respectée)**

Contraintes sur la fréquence d'échantillonnage f_s :

$$\begin{cases} f_s \geq f_{\text{emin}} \\ f_s \in \text{"bandes permises"} \end{cases}$$

Bandes permises = bandes pour lesquelles il n'y a pas de recouvrement du spectre du signal.

Contraintes d'échantillonnage uniforme pour les signaux multi-bandes

- Cas d'un signal réel à 3 bandes:

Bande effective :

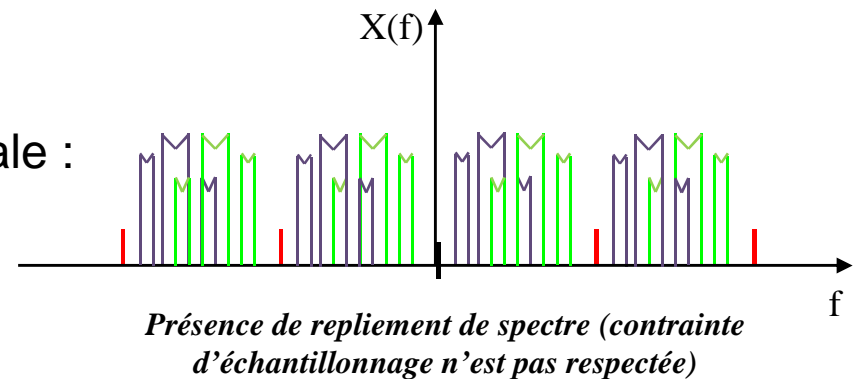
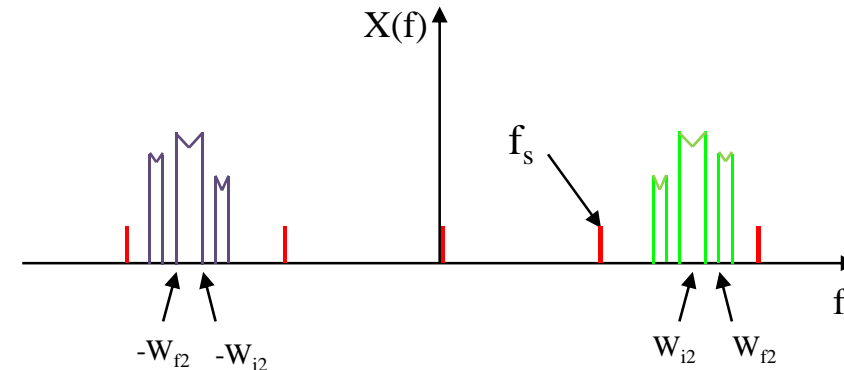
$$I = \cup I_i$$

Largeur de la bande effective :

$$B = 2 \sum_k (w_{fk} - w_{ik})$$

Fréquence d'échantillonnage minimale :

$$f_{\text{emin}} = B$$



Contraintes sur la fréquence d'échantillonnage f_s :

$$\begin{cases} f_s \geq f_{\text{emin}} \\ f_s \in \text{"bandes permises"} \end{cases}$$

Bandes permises = bandes pour lesquelles il n'y a pas de recouvrement du spectre du signal.

Contraintes d'échantillonnage uniforme pour les signaux multi-bandes

- Cas d'un signal réel à 3 bandes:

Bande effective :

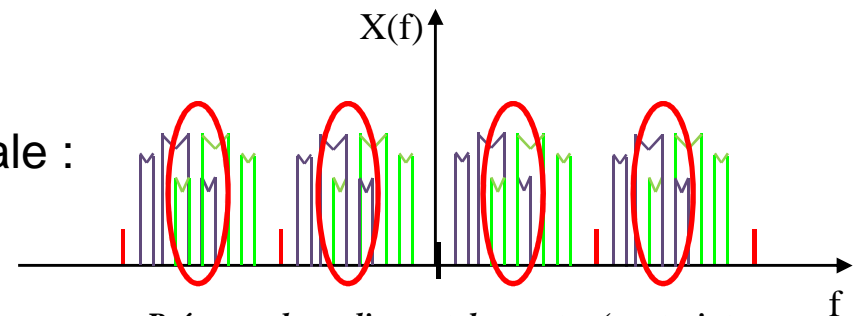
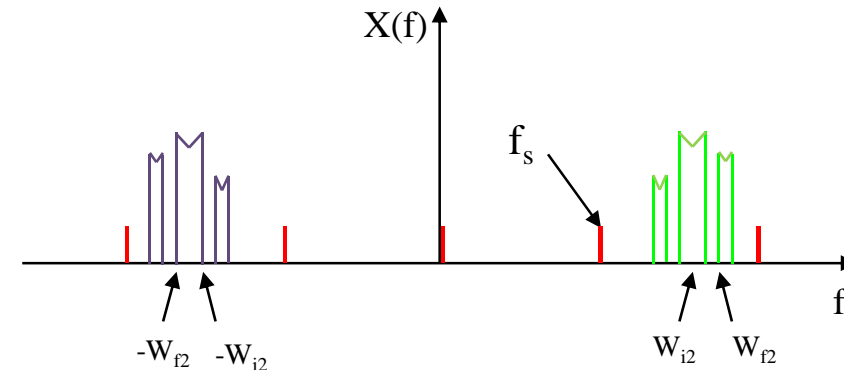
$$I = \cup I_i$$

Largeur de la bande effective :

$$B = 2 \sum_k (w_{fk} - w_{ik})$$

Fréquence d'échantillonnage minimale :

$$f_{\text{emin}} = B$$



Présence de repliement de spectre (contrainte d'échantillonnage n'est pas respectée)

Contraintes sur la fréquence d'échantillonnage f_s :

$$\begin{cases} f_s \geq f_{\text{emin}} \\ f_s \in \text{"bandes permises"} \end{cases}$$

Bandes permises = bandes pour lesquelles il n'y a pas de recouvrement du spectre du signal.

Quelques raisons justifiant l'application de l'échantillonnage aléatoire

L'échantillonnage aléatoire présente un certains nombre d'avantages tels que:

- ✓ Pas de répliques de spectres (absence de recouvrement du signal) lorsque le processus est stationnaire.
- ✓ Le filtrage anti-repliement fait partie intégrante du processus de l'échantillonnage stationnaire.
- ✓ Large choix sur les fréquences d'échantillonnage.

Taux d'échantillonnage moyen \geq largeur de la bande effective

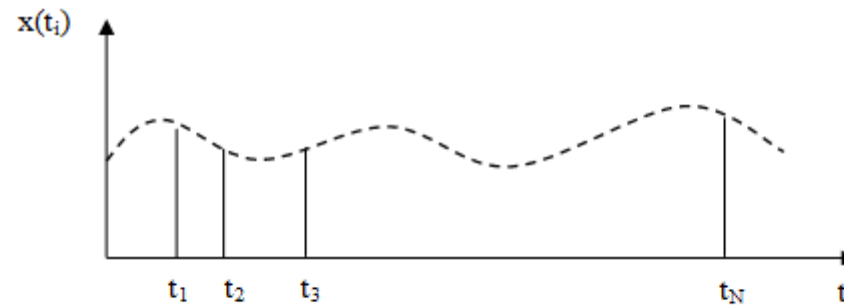
Inconvénient:

- Processus de reconstruction plus complexe

Reconstruction des signaux aléatoirement échantillonnés

On considère:

- ➔ X_s un vecteur de dimension égale au nombre d'échantillons N ,
 $X_s = [x(t_1), x(t_2), x(t_3), \dots, x(t_N)]$



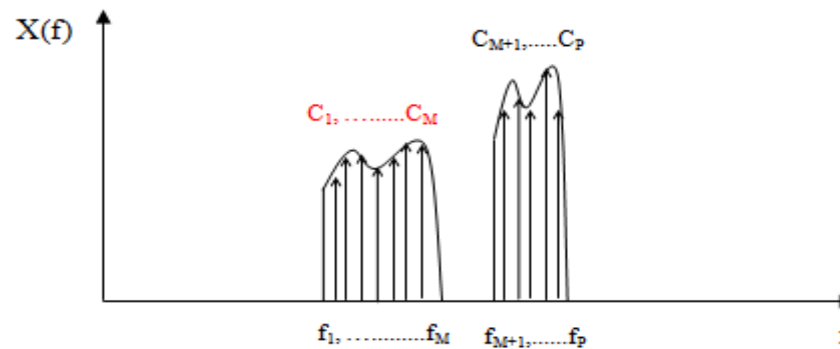
$$X_s = \begin{pmatrix} x(t_1) \\ \vdots \\ x(t_N) \end{pmatrix}$$

- ➔ A est une matrice de dimension $N \times M$ formée par les éléments de la base $A_m(t_n)$

$$A_{ik} = e^{2j\pi f_k t_i} \quad A = N \left\{ \overbrace{\begin{pmatrix} A_{11} & \dots & A_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{N1} & \dots & A_{NM} \end{pmatrix}}^M \right.$$

Reconstruction des signaux aléatoirement échantillonnés

- C un vecteur de dimension M avec les éléments complexes c_k à



$$C = \begin{pmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_M \end{pmatrix}$$

X_s , C et A sont liés par l'équation linéaire suivante :

$$X_s = AC \quad (1)$$

L'objectif est de reconstruire le signal $x(t)$, ce qui revient à calculer les composantes fréquentielles C_k .

Reconstruction des signaux aléatoirement échantillonnés

Le signal $x(t)$ peut être reconstruit par la formule suivante:

$$\hat{x}(t) = \sum_{k=1}^M C_k e^{j2\pi f_k t} \quad (2)$$

Les coefficients C_k sont calculés à partir de la minimisation de l'erreur quadratique défini par :

$$E_q^2 = \|AC - X_s\|^2 \quad (3)$$

Le minimum est obtenu par:

$$A^H AC = A^H X_s \quad (4)$$

Travail effectué

- Application de la méthode de reconstruction itérative **ADPW** (Adaptive Weights) à des signaux multi-bandes aléatoirement échantillonnés dans le contexte d'un système radio logicielle.
- Proposition d'une nouvelle structure du Front-end numérique basée sur l'algorithme itératif ADPW pour la sélection du canal. L'application est faite dans le contexte d'un système radio logicielle et en utilisant un mode d'échantillonnage aléatoire.
- Etude comparative entre les différentes structures du Front -end numérique (basée sur l'ADPW, la SVD et sur les filtres CIC) pour montrer l'intérêt de la méthode proposée par rapport au autres approches.

Détection spectrale appliquant l'échantillonnage aléatoire dans le contexte de la radio cognitive

Radio Cognitive:

Une radio cognitive (RC) est un dispositif qui est conscient de son environnement radio et qui transmet uniquement dans les bandes de fréquences qui ne sont pas utilisés par un utilisateur principal.

Détection Spectrale (Spectrum Sensing):

- La première étape cruciale dans les systèmes RC
- Le but est de pouvoir connaître l'utilisation courante des bandes qui lui sont accessibles de façon à ne pas gêner les utilisateurs primaires et à optimiser son insertion dans les différentes bandes libres.

Détection spectrale appliquant l'échantillonnage aléatoire dans le contexte de la radio cognitive

Principe de la détection spectrale:

La décision sur l'occupation d'une bande peut être obtenue en comparant le test statistique T avec un seuil fixe λ_E .

$$\begin{cases} H_0 : x(n) = \omega(n) \\ H_1 : x(n) = s(n) + \omega(n) \end{cases}$$

Les performances d'un algorithme de détection :

$$\begin{cases} P_{FA} : \Pr ob\{T > \lambda_E / H_0\} \\ P_D : \Pr ob\{T > \lambda_E / H_1\} \end{cases}$$

Le signal traité par la suite est composé de cinq bandes et on va s'intéresser à la détection spectrale au niveau de la bande 4.



Détection spectrale appliquant l'échantillonnage aléatoire dans le contexte de la radio cognitive

Principe de la détection spectrale:

La décision sur l'occupation d'une bande peut être obtenue en comparant le test statistique T avec un seuil fixe λ_E .

$$\begin{cases} H_0 : x(n) = \omega(n) \\ H_1 : x(n) = s(n) + \omega(n) \end{cases}$$

Les performances d'un algorithme de détection :

$$\begin{cases} P_{FA} : \Pr ob\{T > \lambda_E / H_0\} \\ P_D : \Pr ob\{T > \lambda_E / H_1\} \end{cases}$$

Pour la probabilité de détection P_D :



Pour la probabilité de fausse alarme P_{FA} :



Détection spectrale appliquant l'échantillonnage aléatoire dans le contexte de la radio cognitive

Méthodes de détection spectrale:

Diverses techniques utilisées pour la détection spectrale peuvent être classés globalement en trois types:

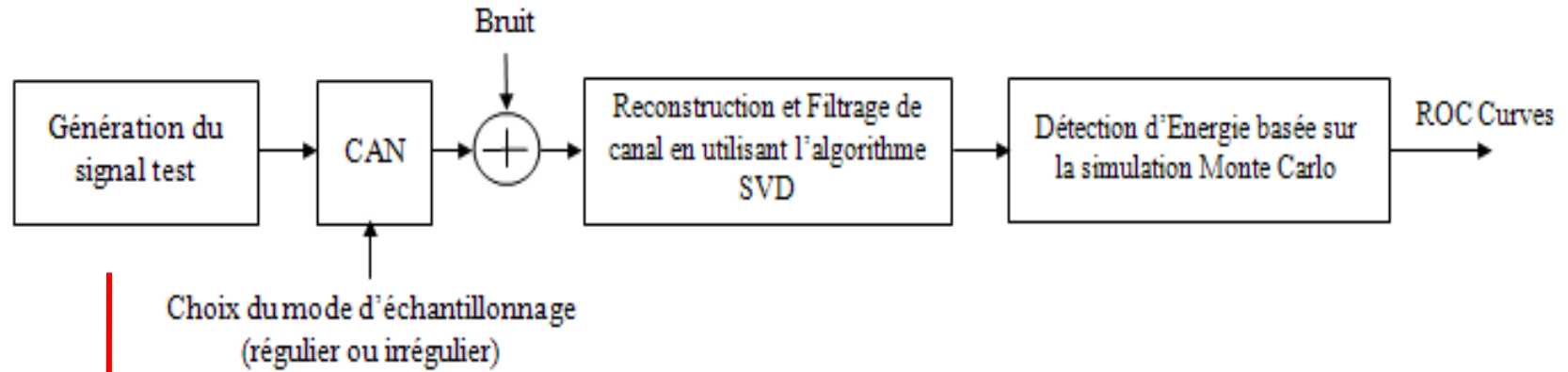
- Détecteur d'Energie (Energy Detector)
- Détecteur à base de Filtre Adapté (Matched Filter Detector)
- Détecteur à base de Cyclostationnarité (Cyclostationary Feature Detector)

le moyen le plus courant de la détection spectrale en raison de ses faibles complexités de traitement et de mise en œuvre .

Une technique utilisée pour détecter l'occupation spectrale des signaux inconnus.

Applications et résultats des simulations

- Diagramme de simulation:

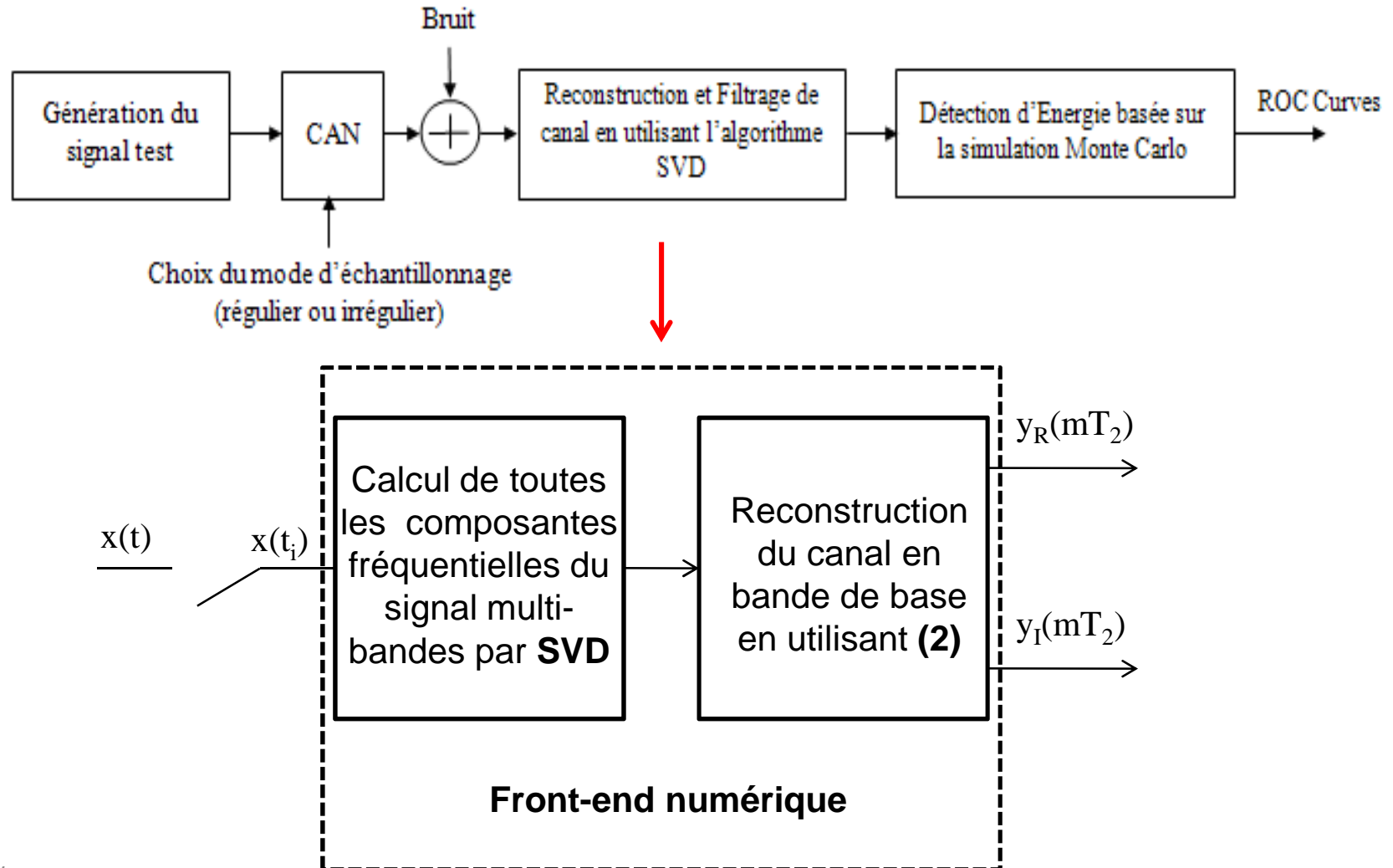


Caractéristiques du signal d'origine:

- ♦ Signal multi-bandes
- ♦ Cinq porteuses espacées de 8MHz
- ♦ Modulation en QPSK
- ♦ Filtrage par filtre en cosinus surélevé (roll-off=0.2)
- ♦ Débit de symbole $R_{\text{sym}} = 4 \cdot 10^6 \text{ sym/s}$
- ♦ Durée d'observation de 10 μs

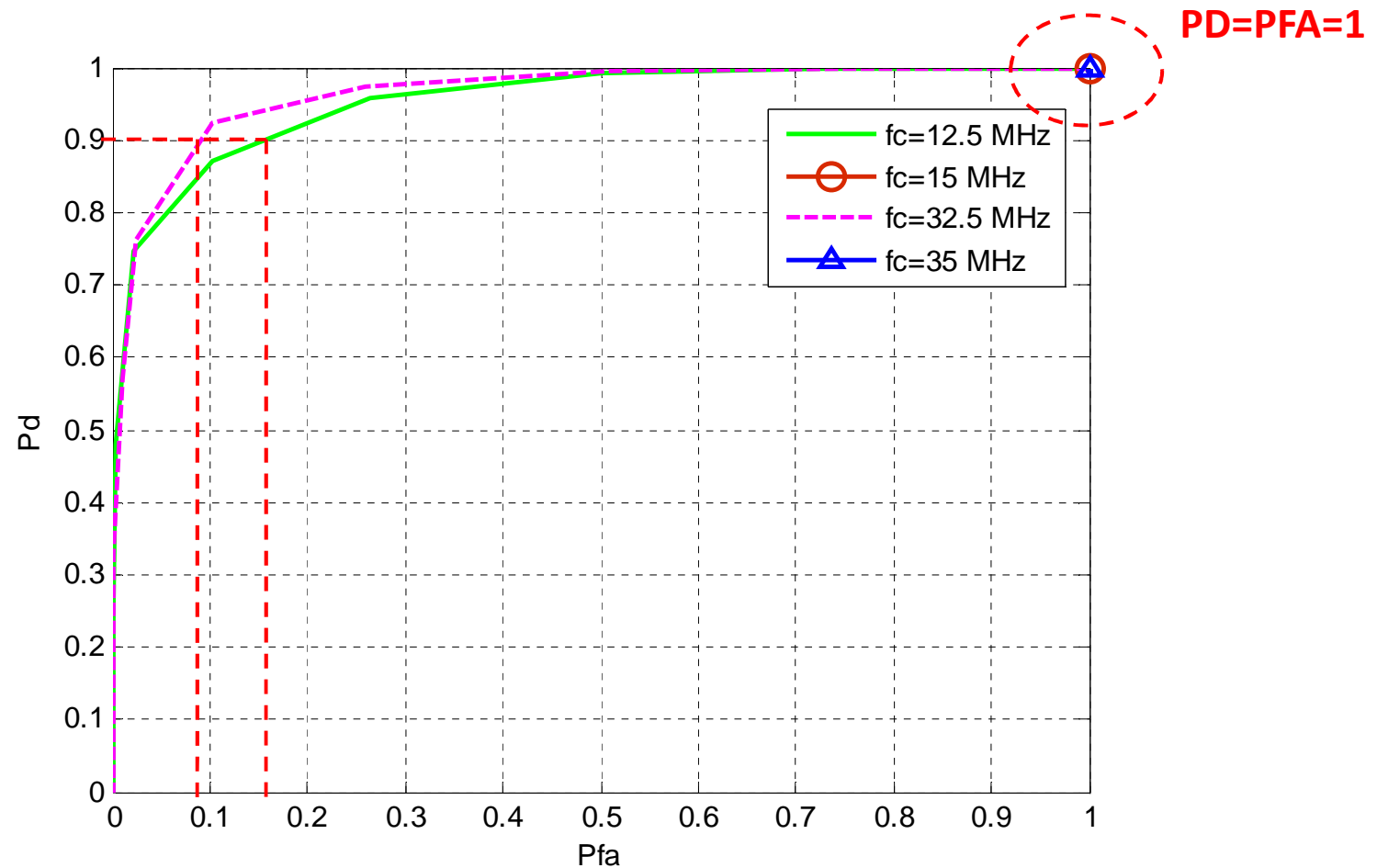
Applications et résultats des simulations

- Diagramme de simulation:



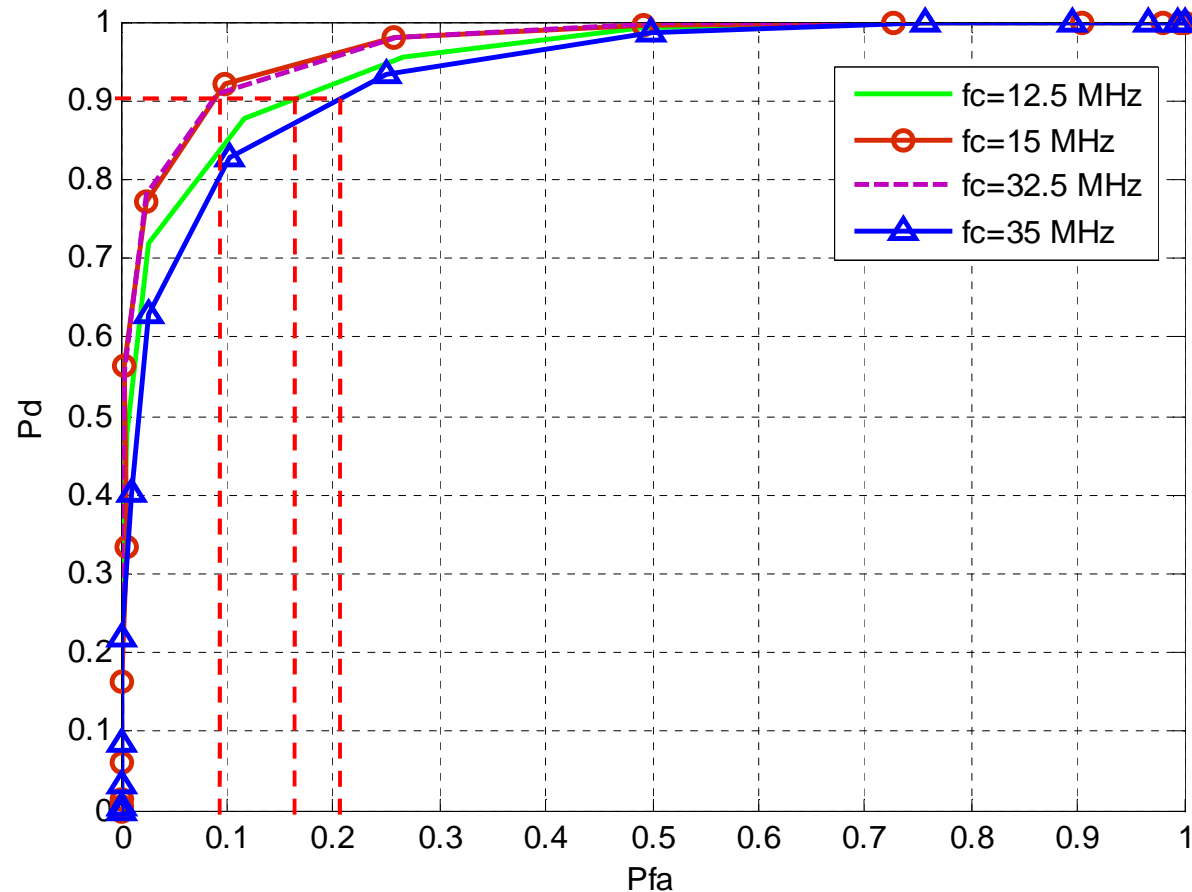
Applications et résultats des simulations

- La courbe ROC estimée sous Matlab en utilisant la simulation Monte Carlo et en se basant sur le diagramme en block (Cas d'échantillonnage uniforme):



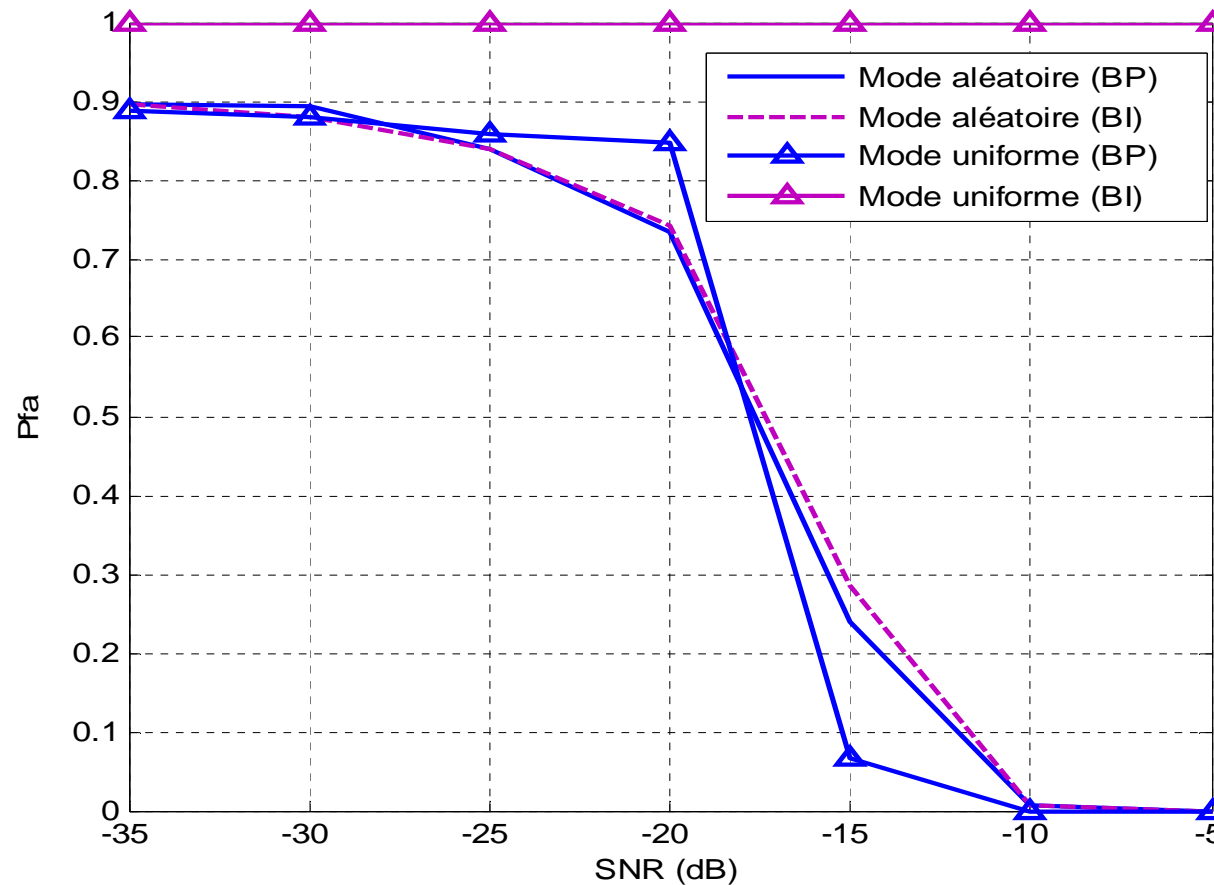
Applications et résultats des simulations

- La courbe ROC estimée sous Matlab en utilisant la simulation Monte Carlo et en se basant sur le diagramme en block (Cas d'échantillonnage aléatoire):



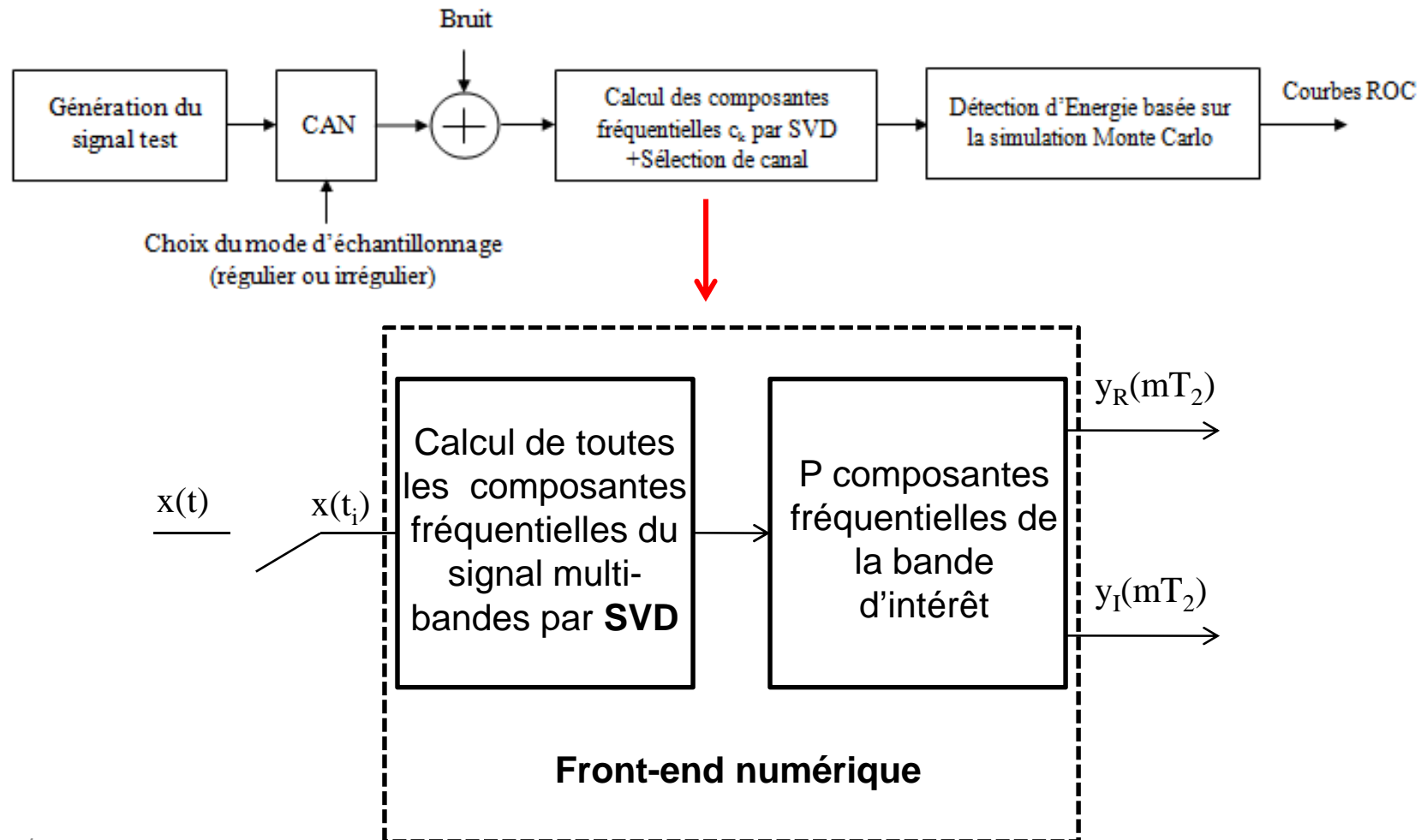
Applications et résultats des simulations

- Comparaison de la probabilité de fausse alarme pour différentes valeurs du SNR (on fixe $P_D=0.9$)



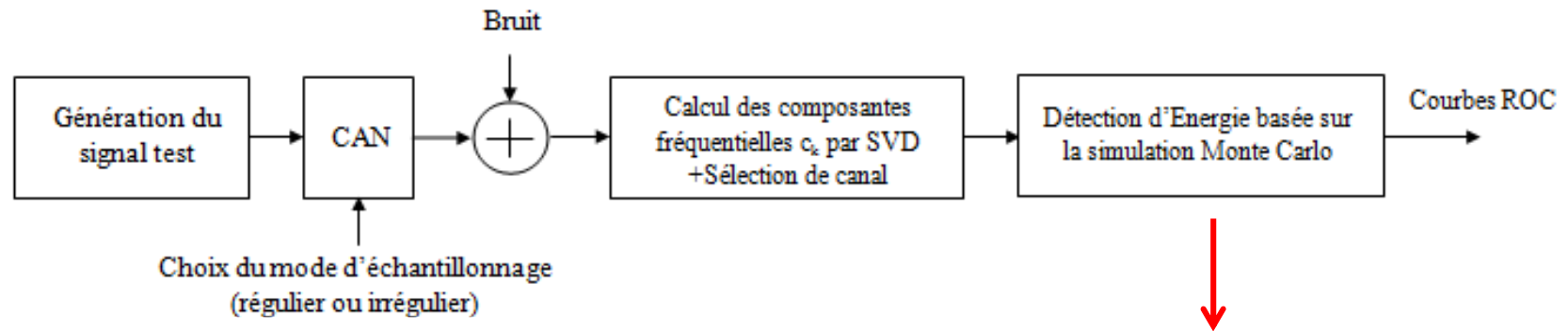
Applications et résultats des simulations

- La détection spectrale en se basant sur les composantes fréquentielles c_k sans passer par l'étape de reconstruction:



Applications et résultats des simulations

- La détection spectrale en se basant sur les composantes fréquentielles c_k sans passer par l'étape de reconstruction:

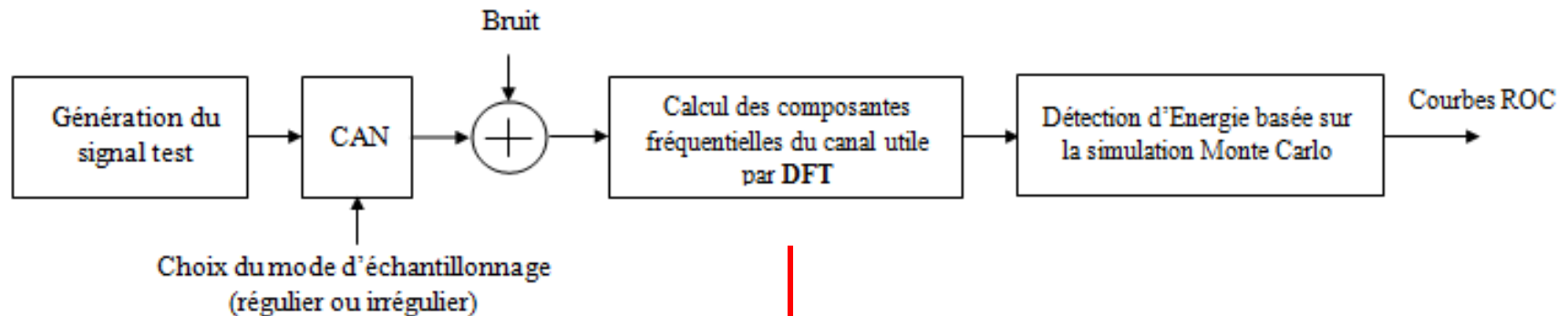


$$T = \frac{1}{P} \sum_{k=1}^P |C_k|^2$$

- **Minimisation du temps de calcul**

Applications et résultats des simulations

- Détection spectrale en se basant sur la DFT:



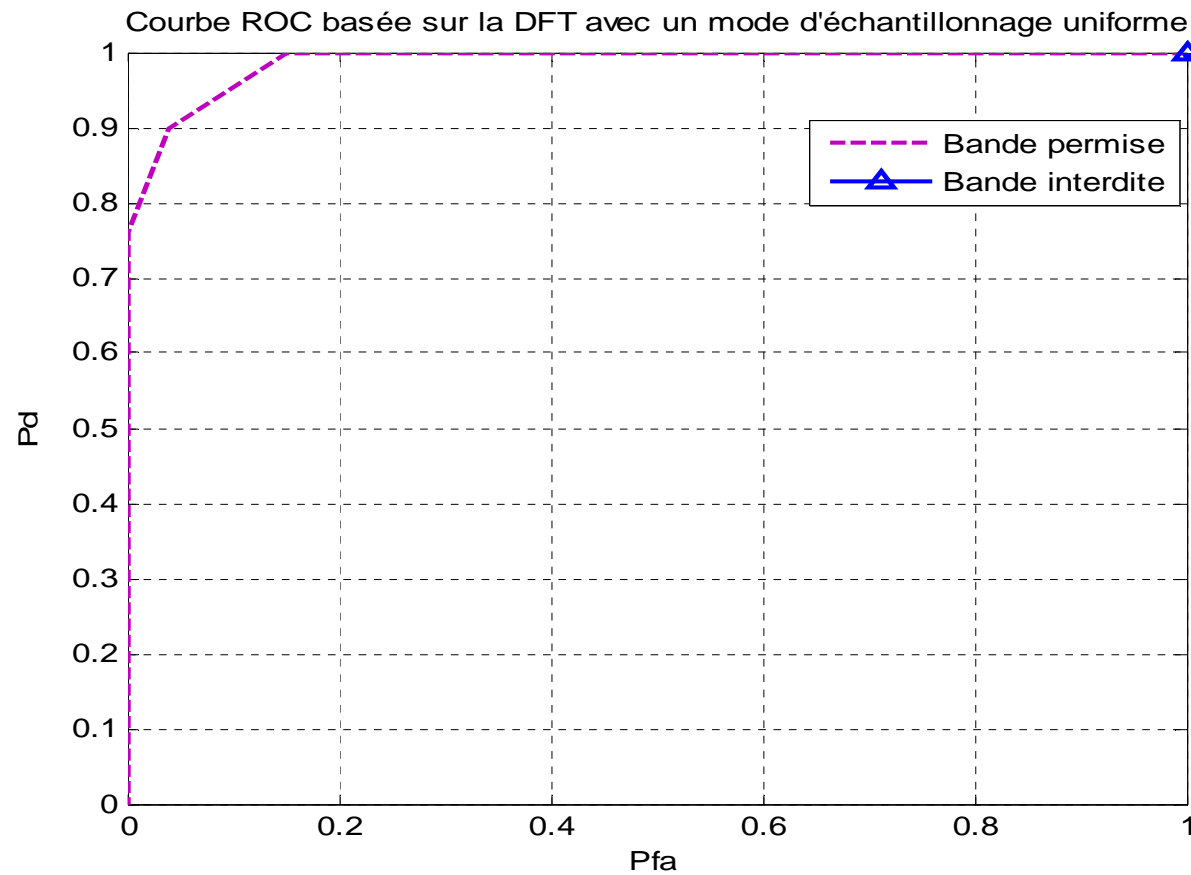
Calcul de toutes les composantes fréquentielles du signal multi-bandes par **DFT**

$$c_k = \sum_{i=1}^N x(t_i) \exp(-j2\pi f_k t_i)(t_i - t_{i-1})$$

- Cette méthode est sensible au bruit.
- On gagne au niveau de la complexité (DFT est moins complexe).
- L'application de la DFT est très flexible (en comparaison avec la méthode de minimisation quadratiques).

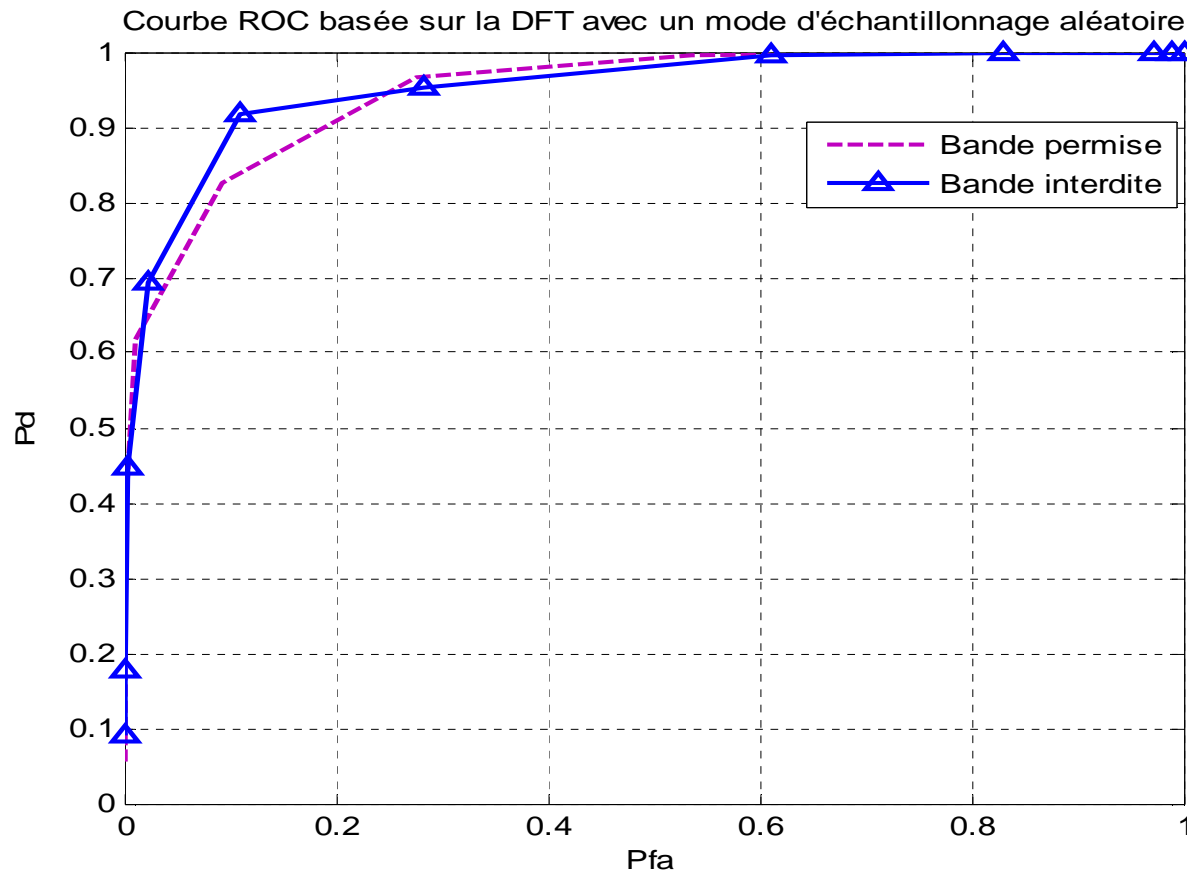
Applications et résultats des simulations

- Détection spectrale basée sur la DFT et en utilisant un mode d'échantillonnage uniforme:



Applications et résultats des simulations

- Détection spectrale basée sur la DFT et en utilisant un mode d'échantillonnage aléatoire:



Conclusion

- Proposition des structures de la détection spectrale dans le contexte de la radio cognitive en appliquant un mode d'échantillonnage aléatoire.
- L'échantillonnage aléatoire permet de s'affranchir la contrainte des bandes interdites imposée dans le cas d'un processus uniforme.

Merci de votre attention