

Supélec



france telecom

Radio Cognitive: Méthodes de détection des bandes libres

28-03-2006

Mohamed GHOZZI
François Marx et Jacques Palicot

Le présent document contient des informations qui sont la propriété de France Télécom. L'acceptation de ce document par son destinataire implique, de la part de ce dernier, la reconnaissance du caractère confidentiel de son contenu et l'engagement de n'en faire aucune reproduction, aucune transmission à des tiers, aucune divulgation et aucune utilisation commerciale sans l'accord préalable écrit de Recherche & Développement de France Télécom.

Plan de l'exposé



- ▶ Définitions et approches
- ▶ Critères de détection
- ▶ Méthodes de détection
- ▶ Modèle cyclostationnaire
- ▶ Méthodes cyclostationnaires
- ▶ Conclusion

Définitions et approches



▶ Radio Cognitive

"la radio cognitive est une radio capable de modifier ses paramètres en fonction de son environnement et du milieu dans lequel elle évolue",

J. Mitola 1999

▶ Bande de fréquences libres

"C'est une bande de fréquences assignée à un utilisateur primaire qui, à un instant donné et à un lieu géographique spécifié, ne l'utilise pas", S. Haykin

▶ Accès opportuniste au spectre radio

"Réutilisation, sur détection, des bandes de fréquences libres", la FCC en 2001

▶ Approches de détection :

*Géolocalisation, Pré-programmation, **traitement du signal***



Critères de détection



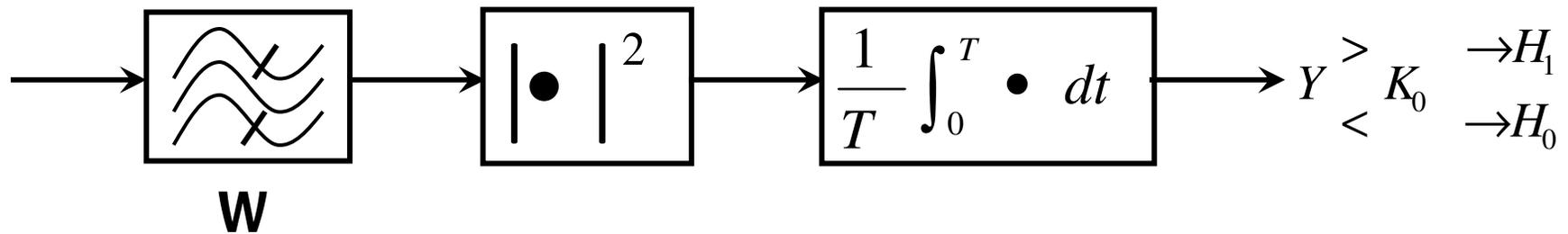
- ▶ **Détection à faible *RSB***
 - ▶ Nœud caché
- ▶ **Détection robuste et fiable**
 - ▶ éviter l'interférence avec systèmes primaires (prioritaires)
- ▶ **Détection avec un minimum de connaissances a priori**
 - ▶ Rendre le terminal plus autonome
- ▶ **Méthodes de détection**
 - ▶ Méthodes énergétiques
 - ▶ Méthodes cyclostationnaires



Méthodes de détection

détection énergétique : Radiomètre

▶ Architecture



- ▶ Modèle stationnaire du signal radio
- ▶ Facile à implémenter
- ▶ Plus TW est grand, plus le RSB requis pour la détection est faible
- ▶ Connaissance a priori : niveau du bruit supposé blanc gaussien



Méthodes de détection

détection Cyclostationnaire

- ▶ **Modèle cyclostationnaire du signal radio**
- ▶ **Détection à faible *RSB***
- ▶ **Connaissance à priori : débit symbole, débit chip, intervalle de garde, fréquence porteuse, etc....**
- ▶ **Indépendante de la connaissance sur le niveau du bruit**

	Complexité de calcul	Détection à faible RSB	Robustesse et fiabilité	Connaissance a priori
Radiomètre	+	+	-	-
Méthodes cyclostat.	-	+	+	-



Modèle Cyclostationnaire



$$x(t) = \sum_k^n s_k q(t - kT_s - t_0)$$

t_0 est aléatoire

t_0 inconnu mais fixe

$$C(t, \tau) = C^{te}$$

$$C(t, \tau) = C(t + T_s, \tau)$$

TF par rapport à τ

$$S(t, f) = S(f)$$

$$S(t, f) = S(t + T_s, f)$$

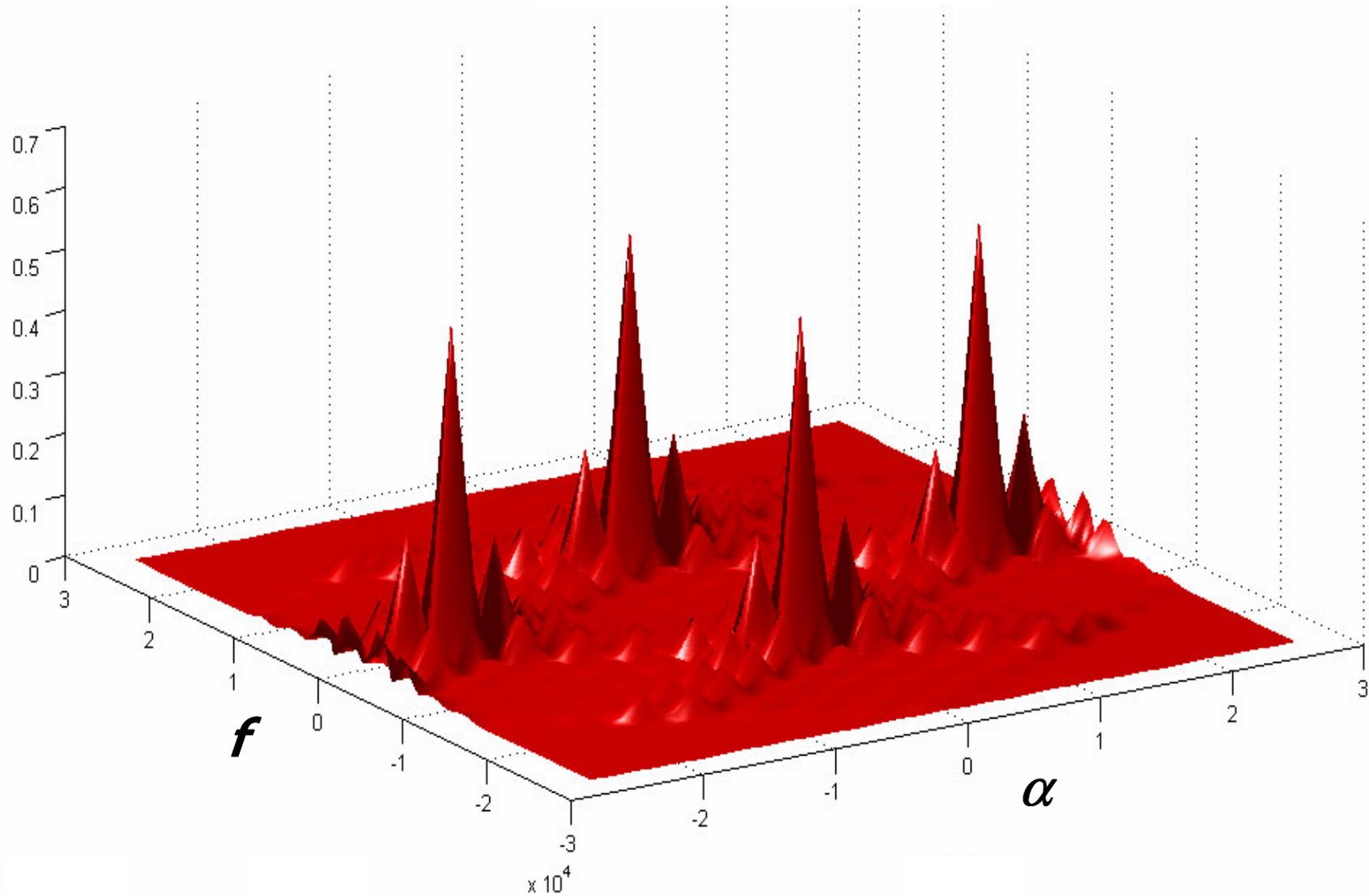
$$= \sum_{\alpha} S(\alpha, f) e^{j2\pi\alpha t}$$



Modèle Cyclostationnaire



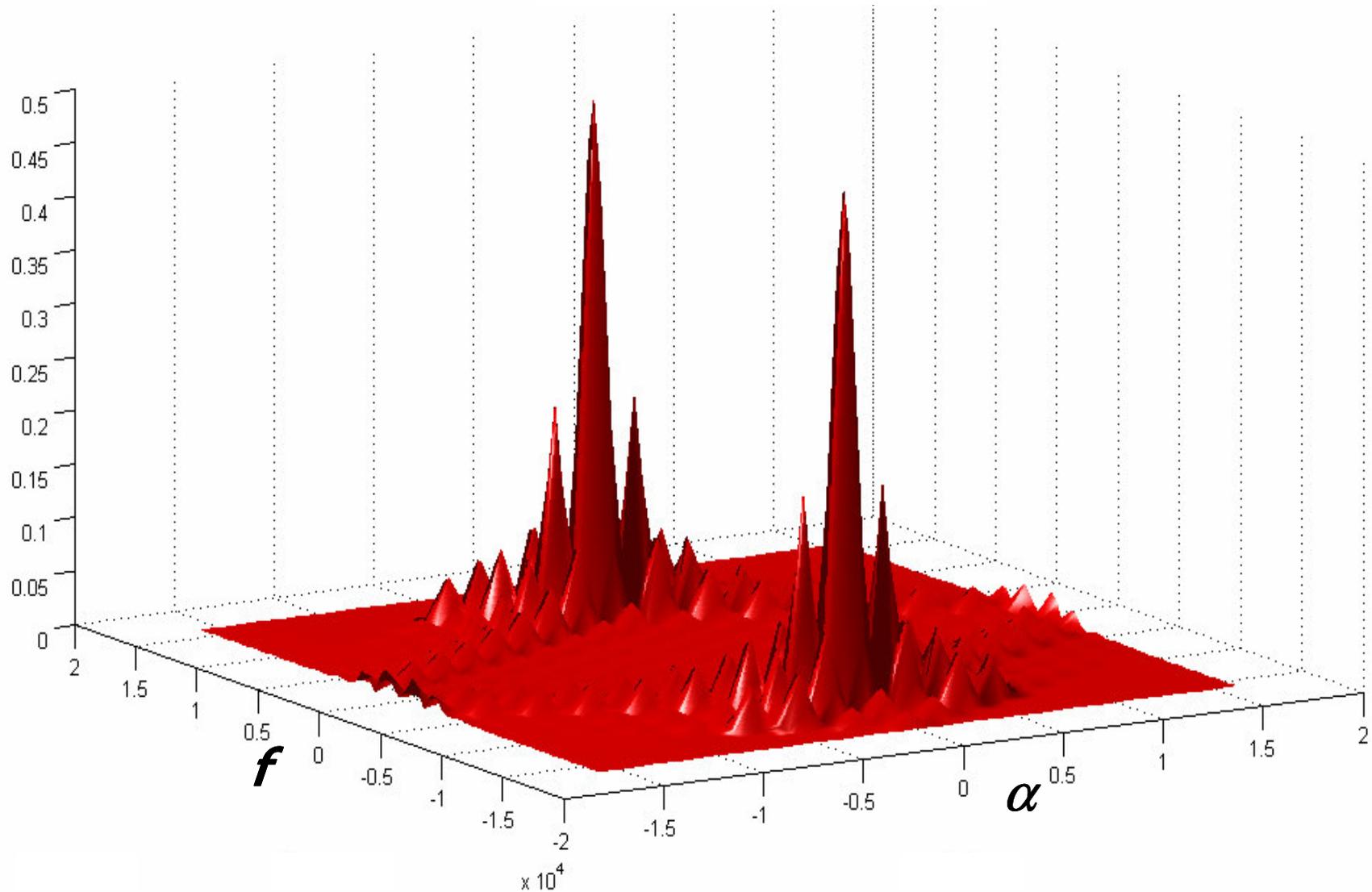
Spectre cyclique d'une modulation BPSK



Modèle Cyclostationnaire



Spectre cyclique d'une modulation QPSK



Méthodes cyclostationnaires



- ▶ Méthode de Dandawaté et Giannakis; 1994
- ▶ Méthode de Variabilité, J. Wang, T. Chen et B. Huang; 2006
Détection sur une seule fréquence cyclique supposée connue
- ▶ Méthode de détection *multi-cycles*

$$\begin{aligned} C(t, \tau) &= C(t + T_s, \tau) \\ &= C(\tau) + \sum_{\alpha \in \Psi} C(\alpha, \tau) e^{j2\pi\alpha t} \\ &= CC + CPP \end{aligned}$$

- ▶ Test d'hypothèses sur *CPP*



Détecteur *multi-cycles*

▶ Estimateur

$$\hat{C}(n, \tau) = \frac{1}{S} \sum_{s=0}^{S-1} x(n + sN)x(n + sN + \tau)$$

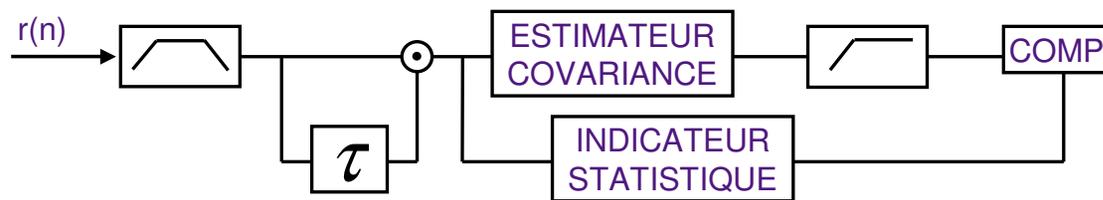
▶ Propriétés

- ▶ Fréquence cyclique α dans :

$$\psi = \left\{ \frac{1}{N.T_e} \leq \alpha < 1; \text{ où } \alpha = \frac{k}{N.T_e}; k \in \mathbb{N} \right\}$$

- ▶ Plus N est grand, plus le nombre de fréquences cycliques est important
- ▶ Estimateur sans biais, asymptotiquement consistant et tend vers une loi gaussienne

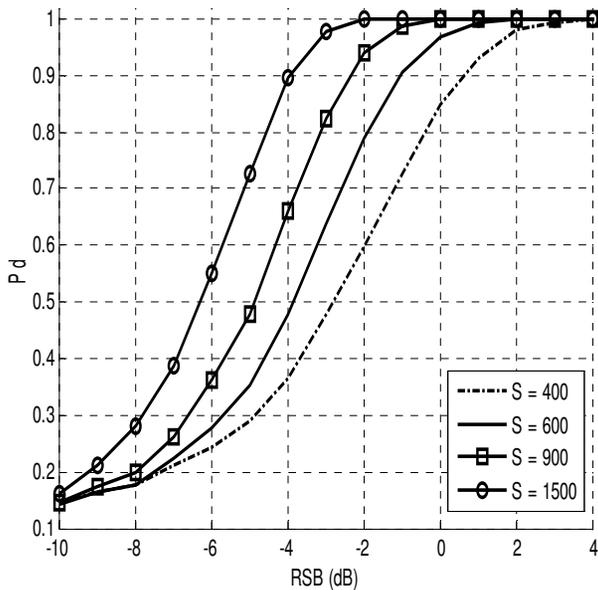
▶ Architecture:



Détecteur *multi-cycles*



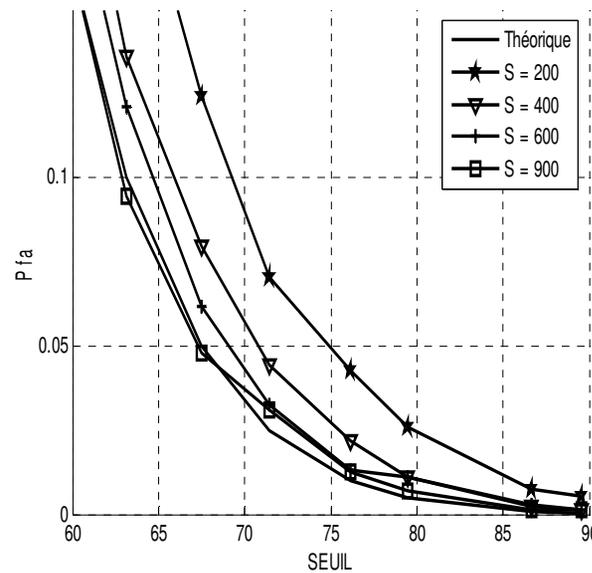
▶ Courbes de performances : Détection d'un signal QPSK



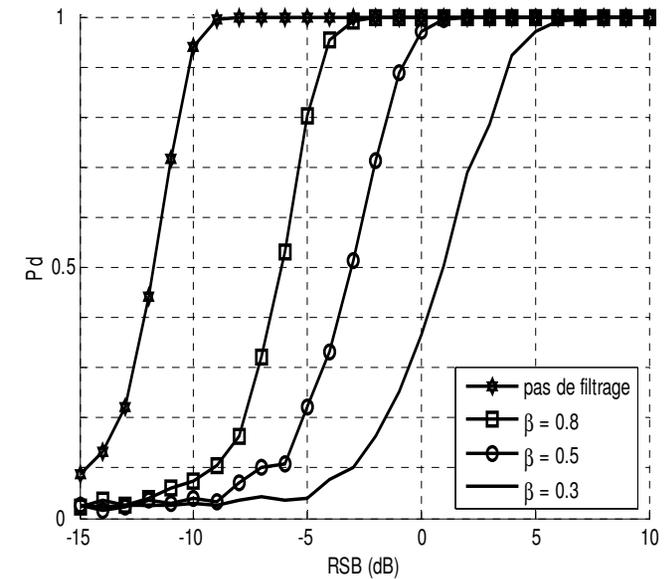
$$P_d = f(RSB),$$

$$P_{fa} = 0.05,$$

$$\beta = 0.5 \text{ et } \tau = 0.$$



$$P_{fa} = f(SEUIL)$$



$$COR : P_d = f(P_{fa}),$$

$$RSB = 0 \text{ dB},$$

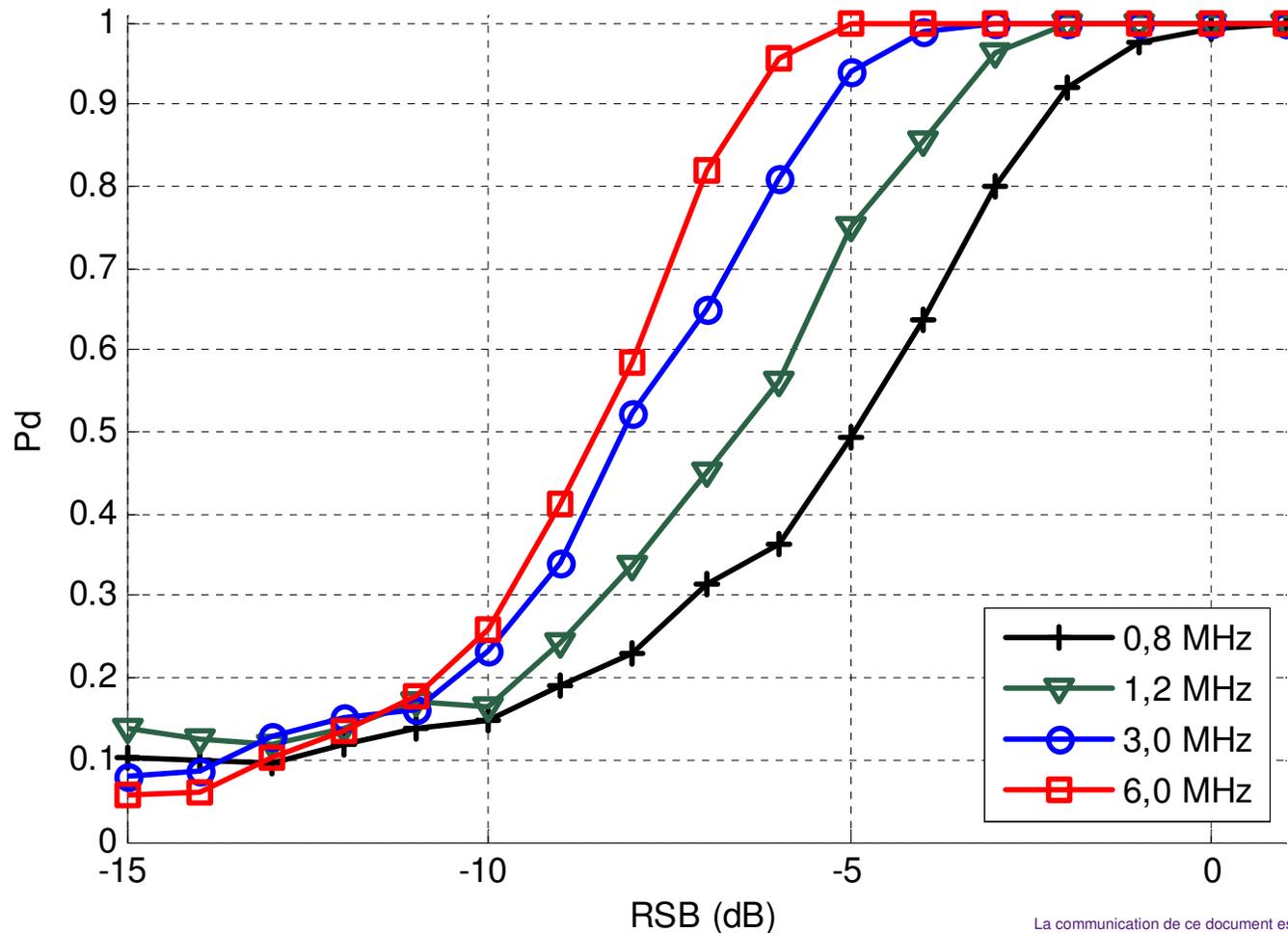
$$\beta = 0.5 \text{ et } \tau = 0.$$



Détecteur *multi-cycles*



▶ Exemple 1 : Test de présence d'un signal de TV numérique



$$N_{\text{symp}} = 200$$

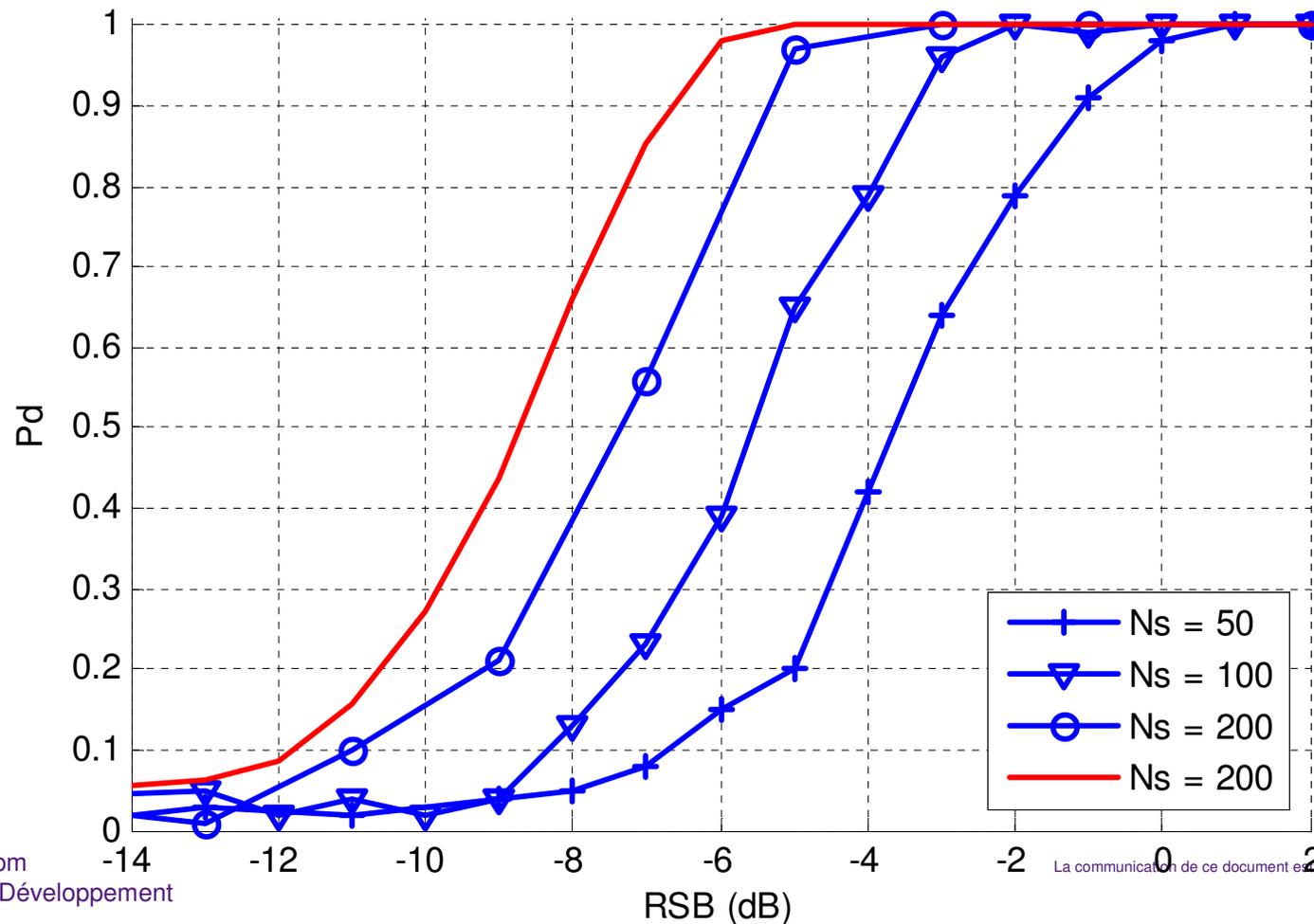
$$P_{fa} = 0.05$$





Détecteur *multi-cycles* & *Algorithme de Dandawaté et Giannakis*

▶ Exemple 2 : Test de présence d'un signal de TV numérique

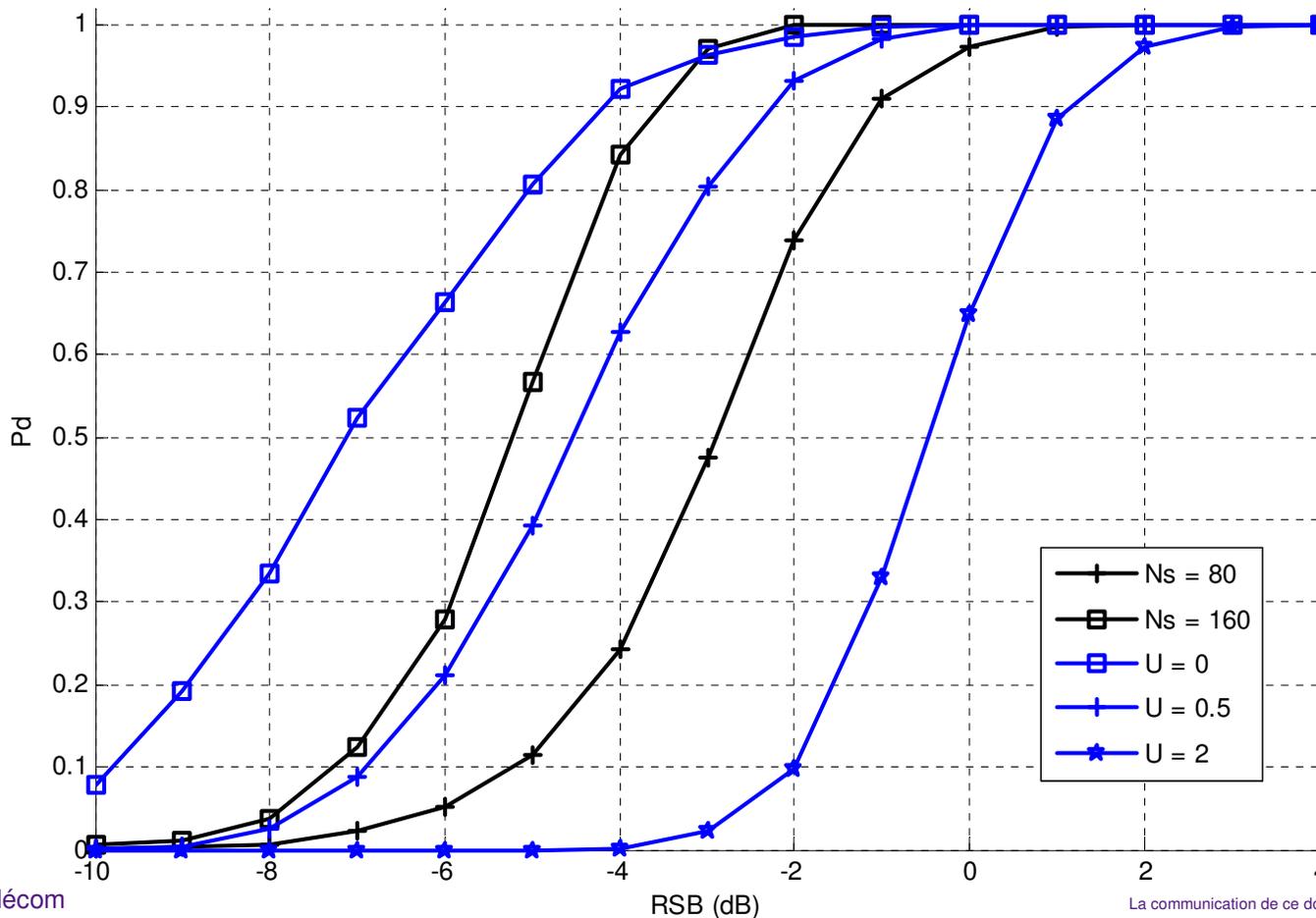


$$P_{fa} = 0.05$$

Détecteur *multi-cycles* & radiomètre



Exemple 2 : Test de présence d'un signal de TV numérique



$$U = \left(\frac{N_0^{estimé} - N_0^{réel}}{N_0^{réel}} \right)_{dB}$$

N_0 niveau du bruit

$$P_{fa} = 0.05$$



Conclusion



- ▶ **La méthode de détection énergétique :**
 - ▶ Pas besoin de connaissances sur le signal à détecter
 - ▶ Non robuste face aux fluctuations du niveau du bruit
 - ▶ Prochaine étape : détection plus robuste

- ▶ **Les méthodes de détection cyclostationnaires :**
 - ▶ Robustes aux fluctuations du niveau du bruit
 - ▶ Pas besoin de la totalité de la bande de fréquence pour détecter un signal
 - ▶ Détectent un utilisateur primaire pendant que les utilisateurs secondaires communiquent
 - ▶ Nécessitent des connaissances sur le signal à détecter (fréquence cyclique)

- ▶ **Détecteur *multi-cycles* :**
 - ▶ Détection de plusieurs cycles à la fois
 - ▶ Une première étape vers une détection sans information a priori
 - ▶ Prochaine étape : détection sur un ensemble continu de fréquences cycliques