

Bases de la modulation numérique

Marcos Rubinstein

Modulation

- La modulation est un traitement appliqué à des signaux en bande de base (comme ceux du slide précédent)
- Le but est d'adapter les signaux à la transmission par un canal de transmission donné
- On utilise une **porteuse** pour transporter les bits
- On change des paramètres physiques de la porteuse, tels la phase, l'amplitude et la fréquence

2

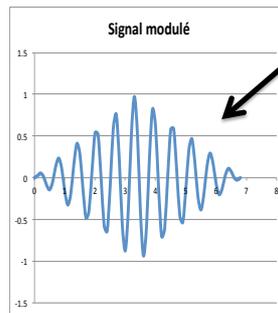
Exemple



Une impulsion de ce type n'est pas adaptée à la propagation dans l'air. Elle subit une forte atténuation et distortion.

Une sinusoïde suffisamment rapide, par contre, se propagerait plus facilement

On peut essayer de combiner les deux



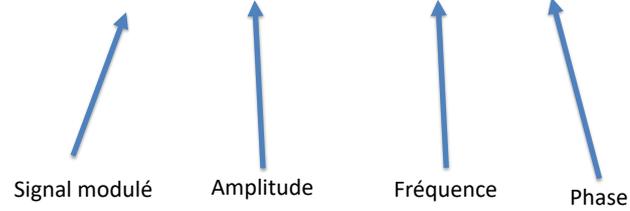
Onde sinusoïdal à haute fréquence, adapté à la transmission sans fils

Pour les transmissions sans fil

- On utilise donc des porteuses électromagnétiques
- Ce sont des sinusoides
- Quelles propriétés pouvons-nous y modifier ?

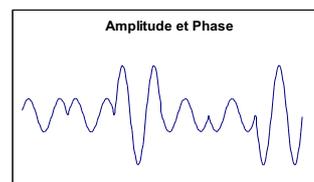
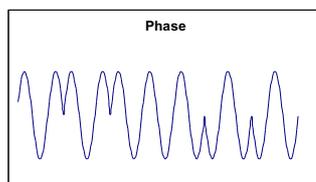
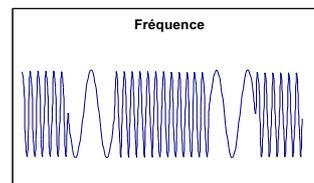
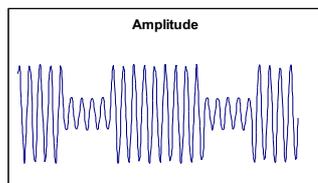
Modulation

$$x(t) = A(t)\cos(2\pi f(t) + \phi(t))$$

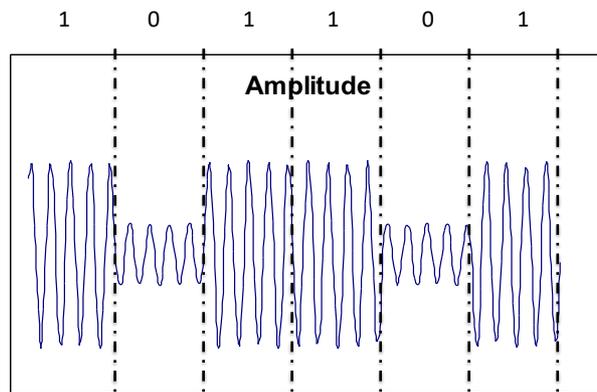


7

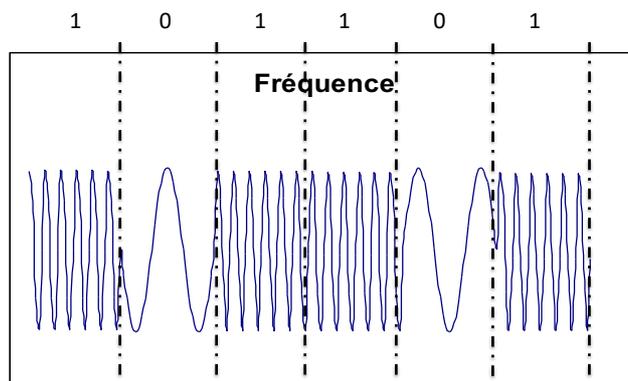
On peut modifier



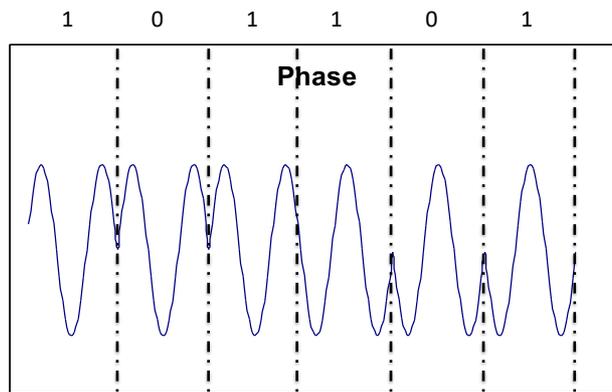
ASK (Amplitude Shift Keying)



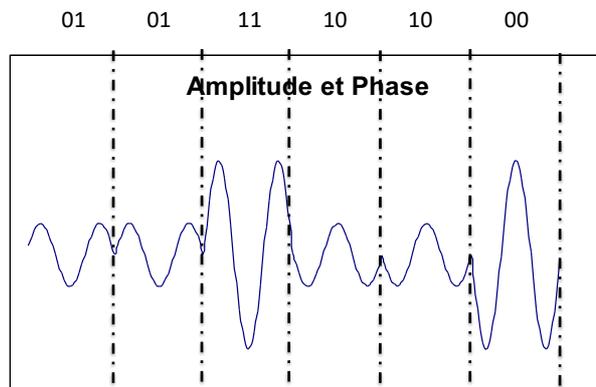
FSK (Frequency Shift Keying)



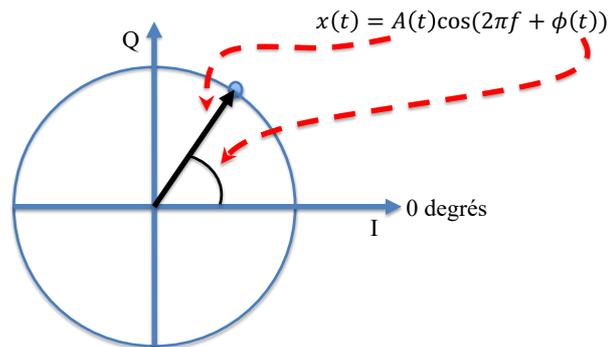
PSK (Phase Shift Keying)



QAM (Quadrature Amplitude Modulation)



Représentation vectorielle des signaux modules



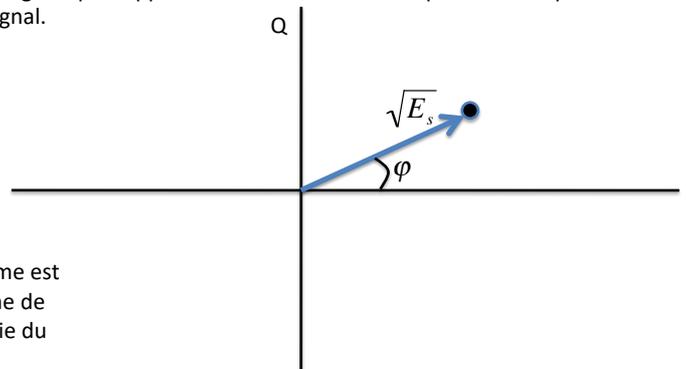
13

Diagramme de constellation

Diagramme polaire qui permet de représenter un signal modulé par un point.

La norme du vecteur position de ce point, $\sqrt{E_s}$, est égale à l'amplitude du signal.

L'angle φ par rapport à l'axe horizontal correspondent à la phase du signal.



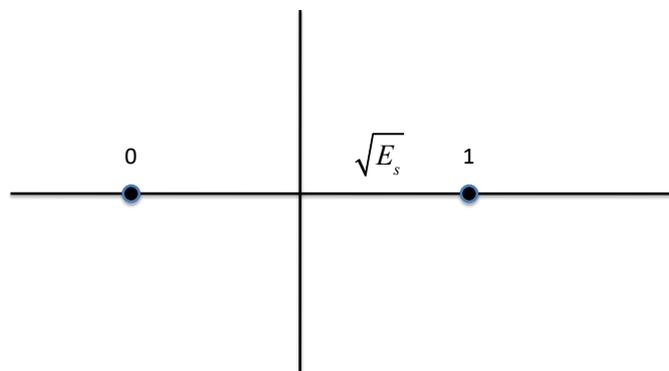
La norme est la racine de l'énergie du signal

14

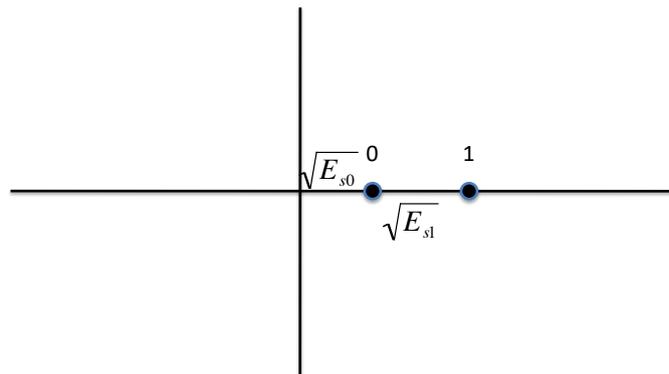
Constellation d'une modulation

- Tous les points correspondant à une modulation donnée
- Exemples...

A quelle modulation cette constellation correspond-elle?

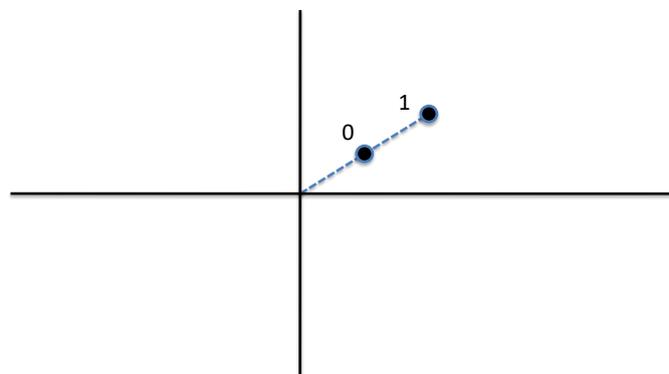


A quelle modulation cette constellation correspond-elle?



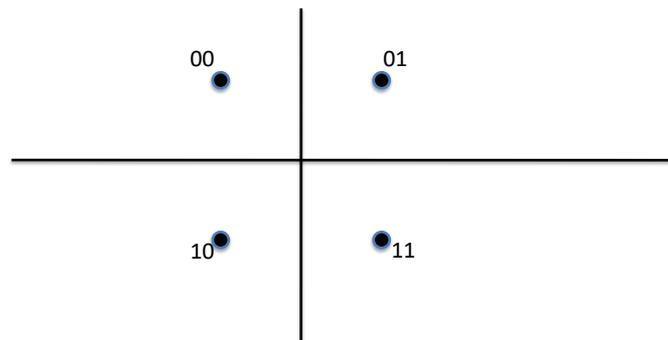
17

A quelle modulation cette constellation correspond-elle?



18

A quelle modulation cette constellation correspond-elle?



19

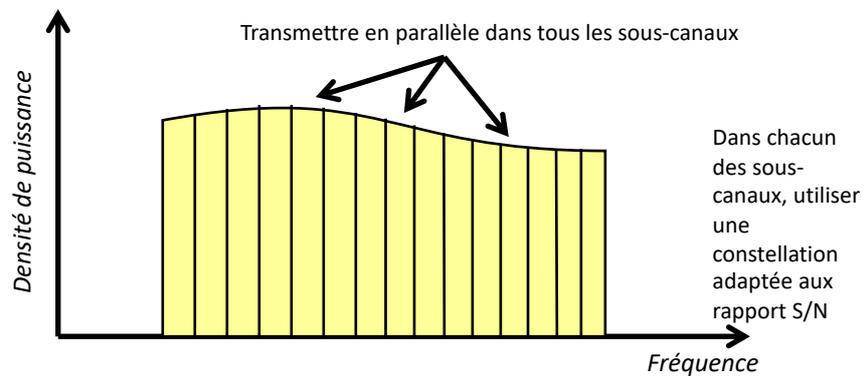
Dessinez les constellations pour les modulations suivantes

- 8-PSK
- 16-QAM
- QPSK
- BPSK
- OOK
- OFDM et OFDMA...

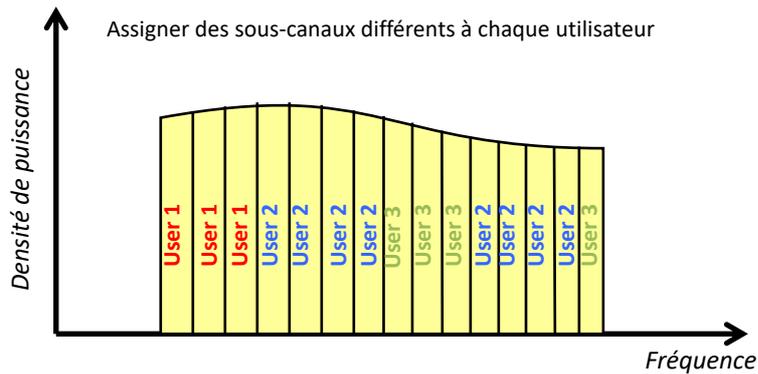
OFDM

- C'est une modulation et aussi une méthode d'accès multiple.
- Très utilisée.

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)



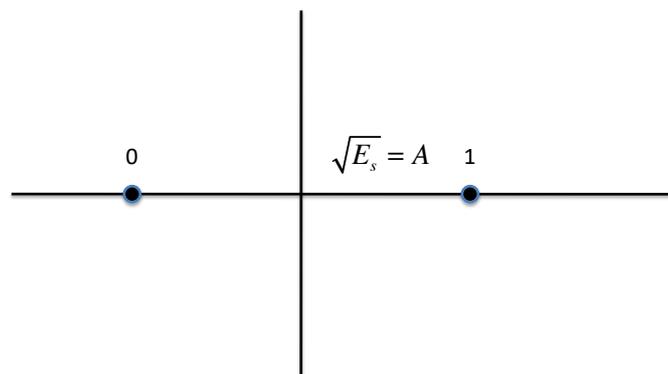
Orthogonal Frequency-Division Multiple Access (OFDMA)



Analyse des modulations

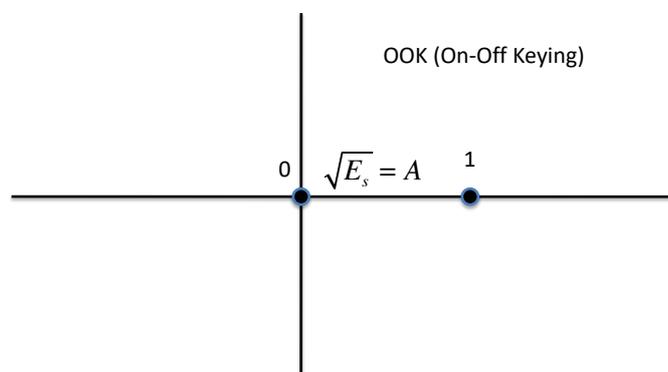
- Utiliser l'espace de signaux pour évaluer les mérites des différents choix de symboles possibles
- Etude de la probabilité d'erreur

Exemple: comment calculer l'énergie moyenne d'une transmission BPSK



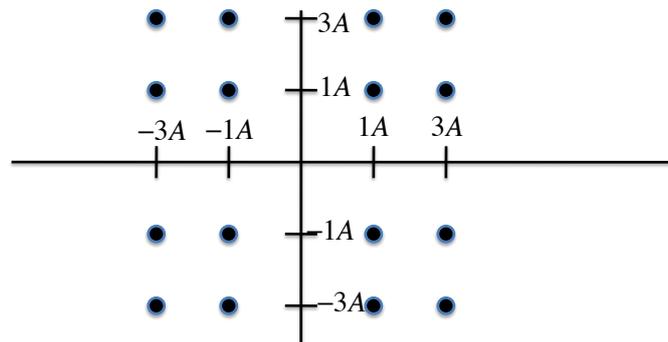
26

Exemple: comment calculer l'énergie d'une transmission OOK?



27

Exercice: calculez l'énergie moyenne
d'une transmission 16 QAM

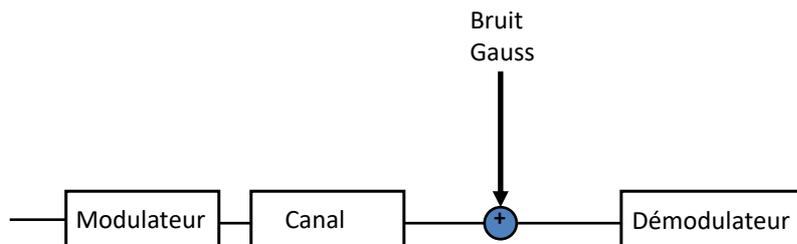


28

Erreurs dues au bruit

29

Modèle du canal



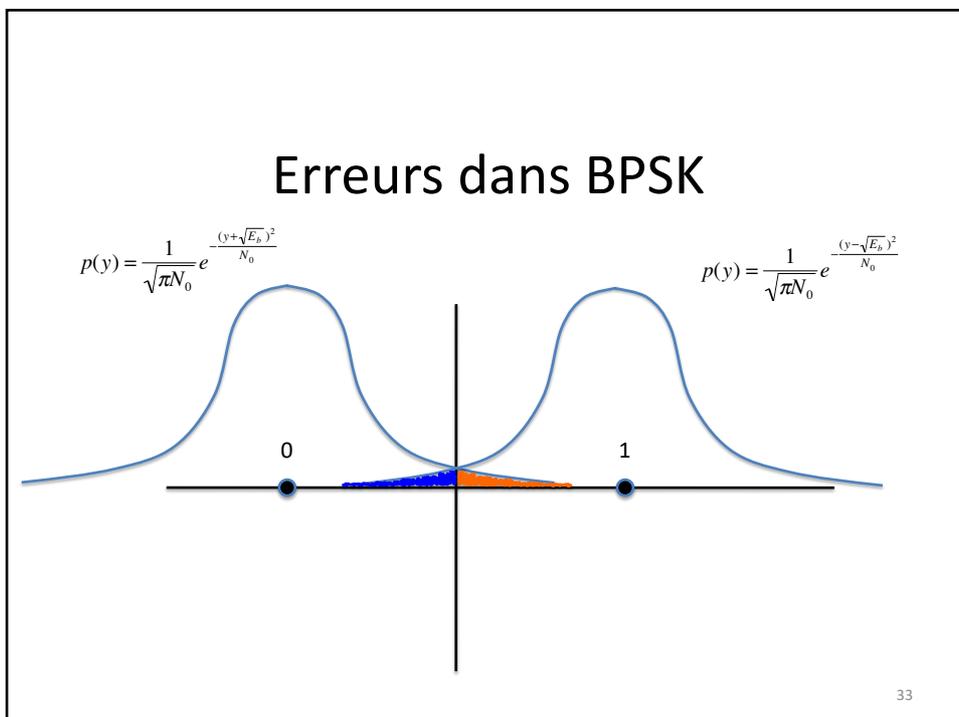
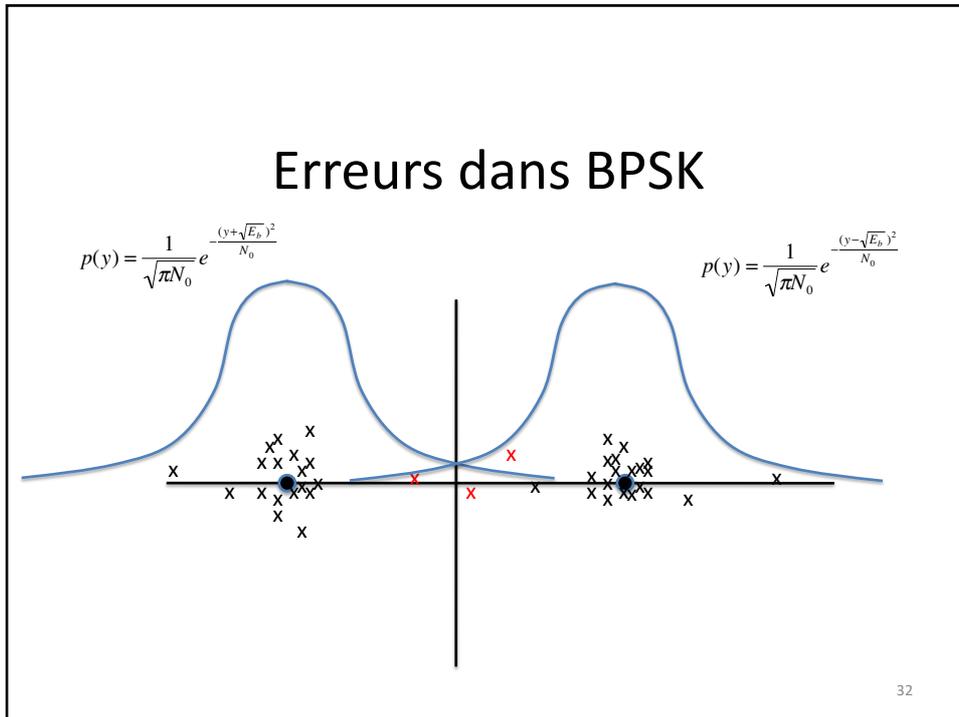
Le bruit s'additionne au signal reçu...

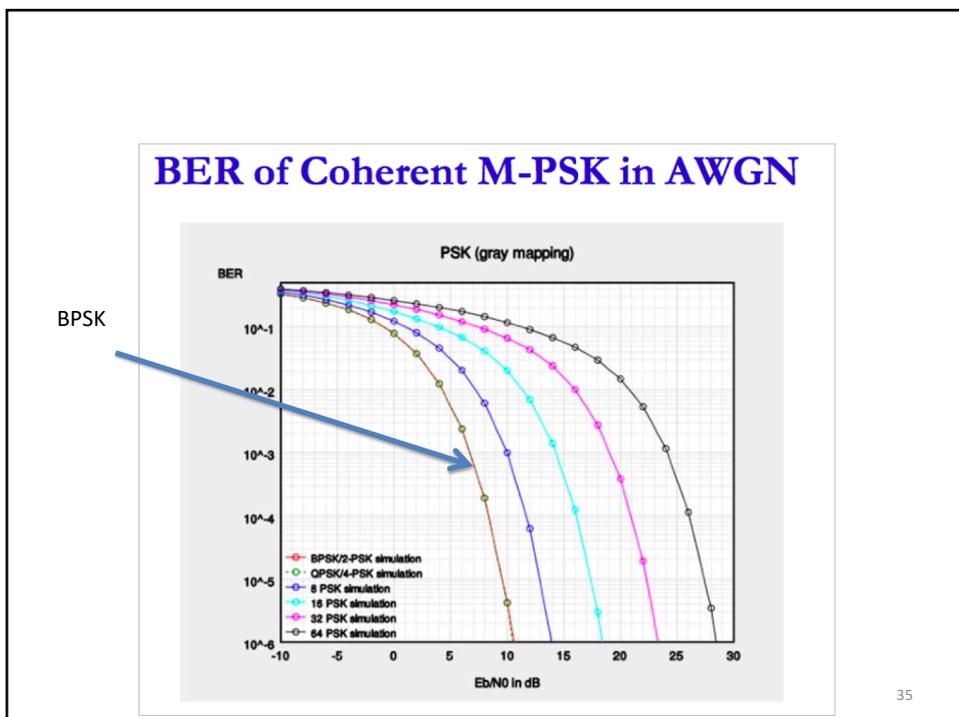
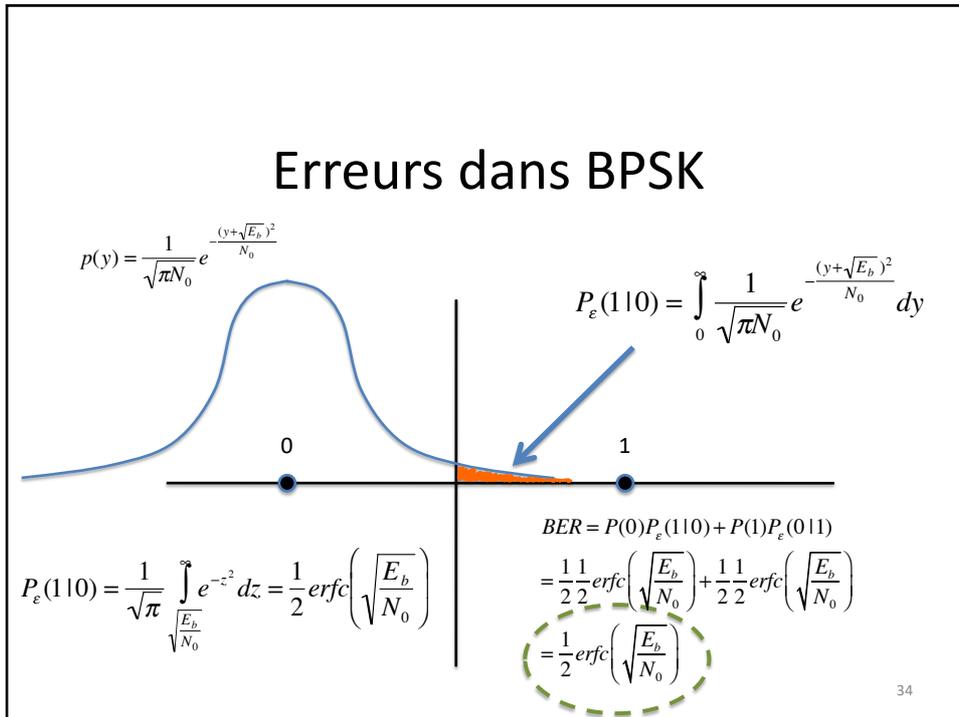
Le bruit thermique

- Le bruit thermique est souvent le bruit minimum

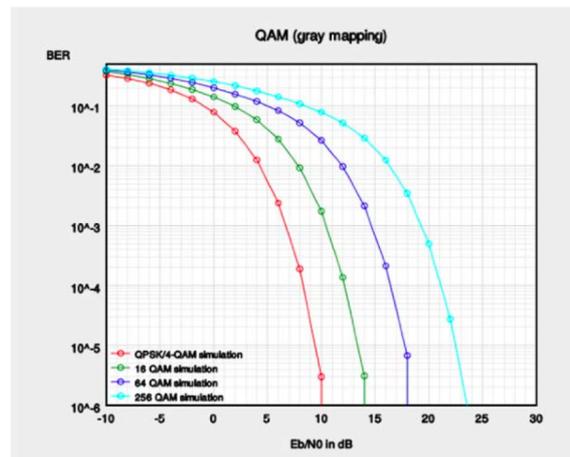
$$P_{Noise} = kTB \text{ [Watt]}$$

- T est la température en Kelvin, k est la constante de Boltzman (1.38×10^{-23} [Watt/°K/Hz]) et B est la largeur de bande en Hz
- Dans certains systèmes, la limitation de la performance vient du bruit produit par d'autres transmissions
- $N_0 = 2kT$





BER of Coherent M-QAM in AWGN



36