

## I.2

# Transmission en bande transposée

# Objectifs

- La modulation a pour rôle d'**adapter l'occupation spectrale** du signal à la Bande Passante du canal sur lequel il sera transmis.
- C'est donc de transformer le signal en bande de base en un signal modulé à spectre étroit, centré autour d'une fréquence haute adaptée aux transmissions en espace libre.

# Principe

- L'opération de modulation d'un signal devra conserver l'information contenue dans le message originel, afin de pouvoir le reconstituer en réception, lors de l'opération inverse appelée démodulation.

# Définitions

- **Onde porteuse** : signal support de l'information
- **Signal modulant** : signal qui porte l'information
- **Signal modulé** : signal transmis

# Onde porteuse

- $p(t) = A \cos ( 2\pi f_P t + \varphi_P )$
- Les paramètres modifiables sont :
  - A l'amplitude,
  - $f_P$  la fréquence,
  - $\varphi_P$  la phase.

# Différentes modulations numériques

- **Modulation FSK** : Frequency Shift Keying ;  
Modulation par Déplacement de Fréquence ;
- **Modulation ASK** : Amplitude Shift Keying ;  
Modulation par Déplacement d'Amplitude ;
- **Modulation PSK** : Phase Shift Keying ;  
Modulation par Déplacement de Phase ;
- **Modulation A+PSK** :

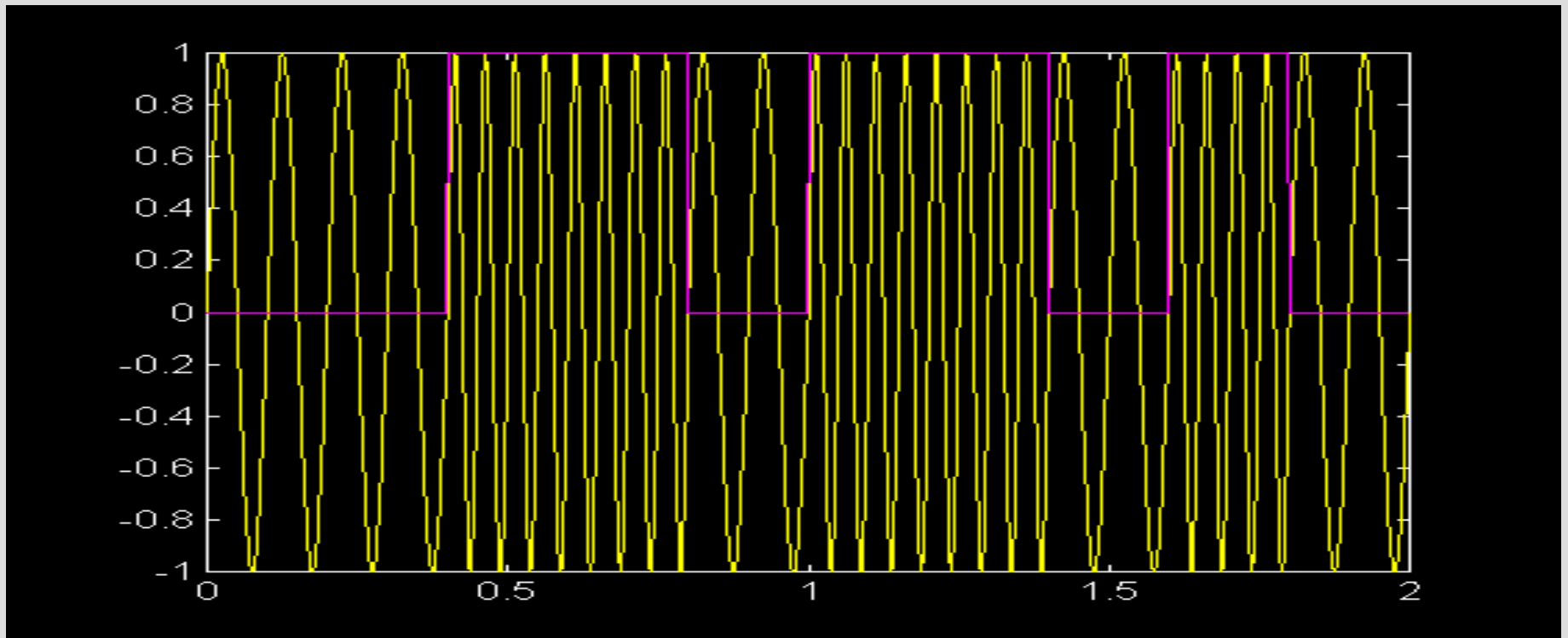
Modulation par Déplacement d'Amplitude et de Phase.

# Modulation FSK

- **Principe** : On transmet une sinusoïde d'amplitude constante et dont la fréquence varie selon la valeur des bits à transmettre.

# Modulation FSK

- **Principe** : On transmet une sinusoïde d'amplitude constante et dont la fréquence varie selon la valeur des bits à transmettre.





# Modulation FSK

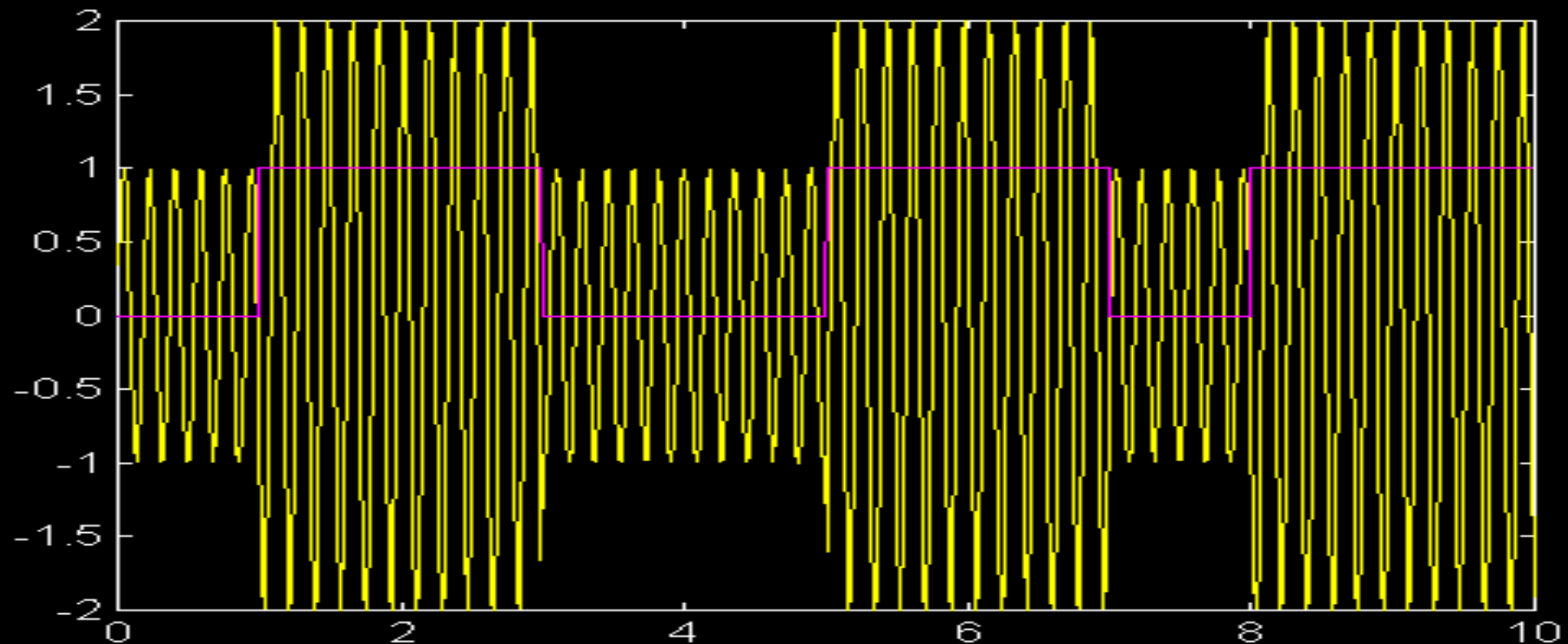
- Modulation :
  - commutateur + différents oscillateurs,
  - OCT commandé par un CNA en paliers (pas de discontinuité de phase) ;
- Démodulation :
  - PLL,
  - filtrage passe-bande.

# Modulation ASK

- **Principe** : On transmet une sinusoïde de fréquence constante et dont l'amplitude varie selon la valeur des bits à transmettre.

# Modulation ASK

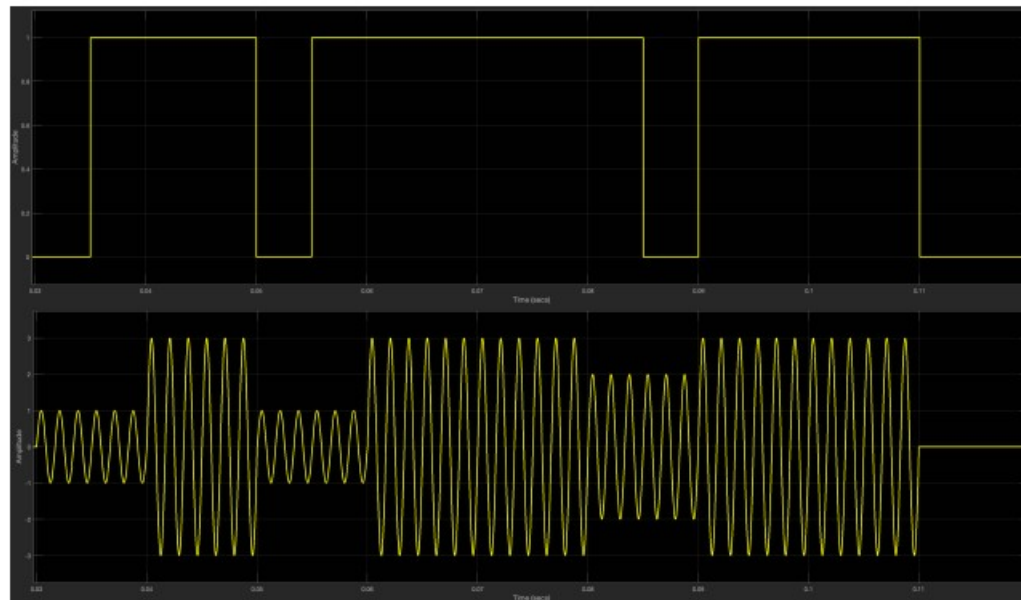
- **Principe** : On transmet une sinusoïde de fréquence constante et dont l'amplitude varie selon la valeur des bits à transmettre.



# Modulation ASK

- On peut augmenter la valence !

Exemple de mapping pour une 4ASK	
Symboles numériques	Symboles de modulation $a_k$
00	0
01	1
10	2
11	3



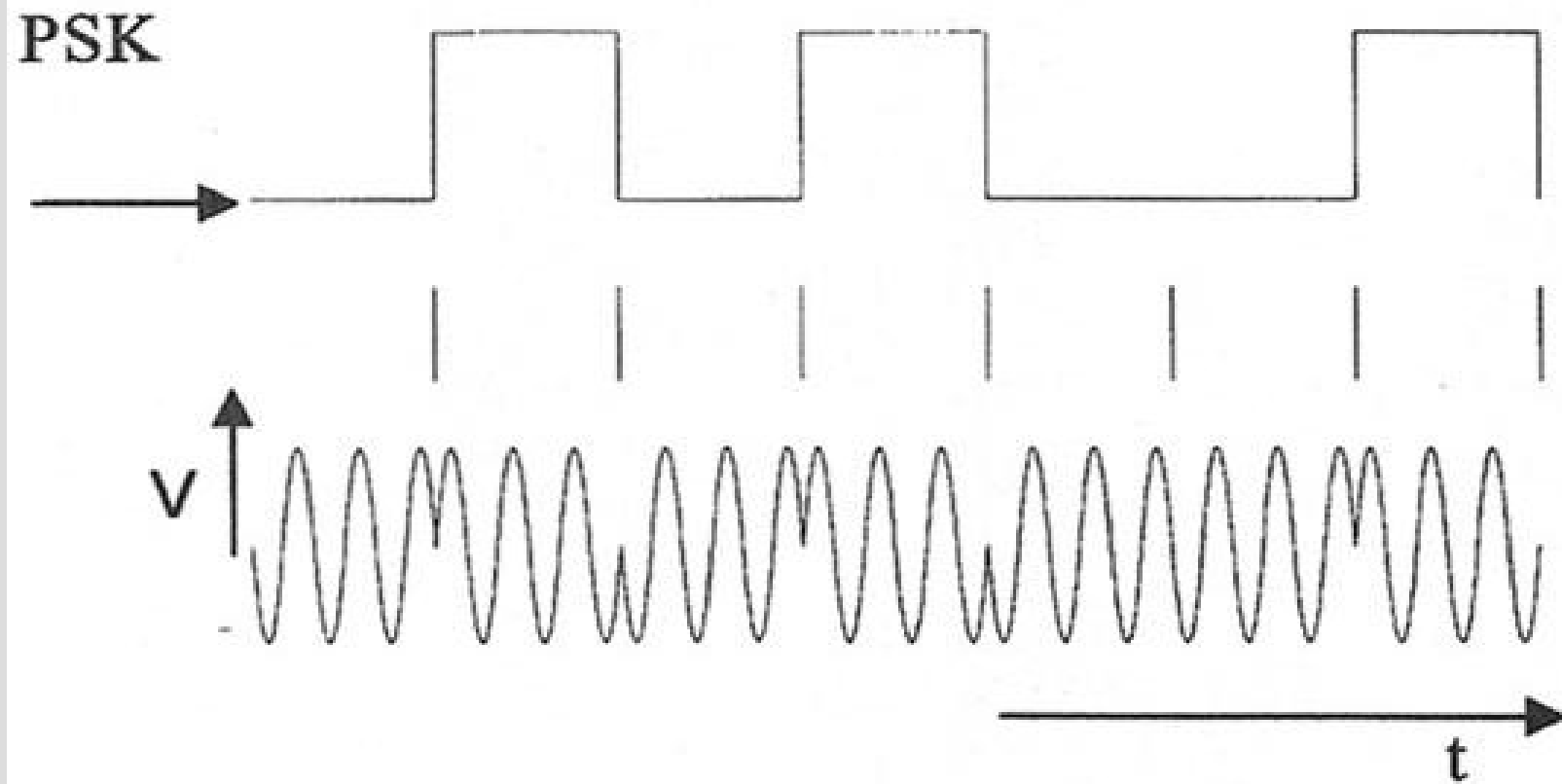
# Modulation ASK

- Modulation :
  - multiplication du signal codé par la porteuse
- Démodulation :
  - détection d'enveloppe,
  - multiplication par la porteuse + filtre passe-bas

# Modulation PSK et DPSK

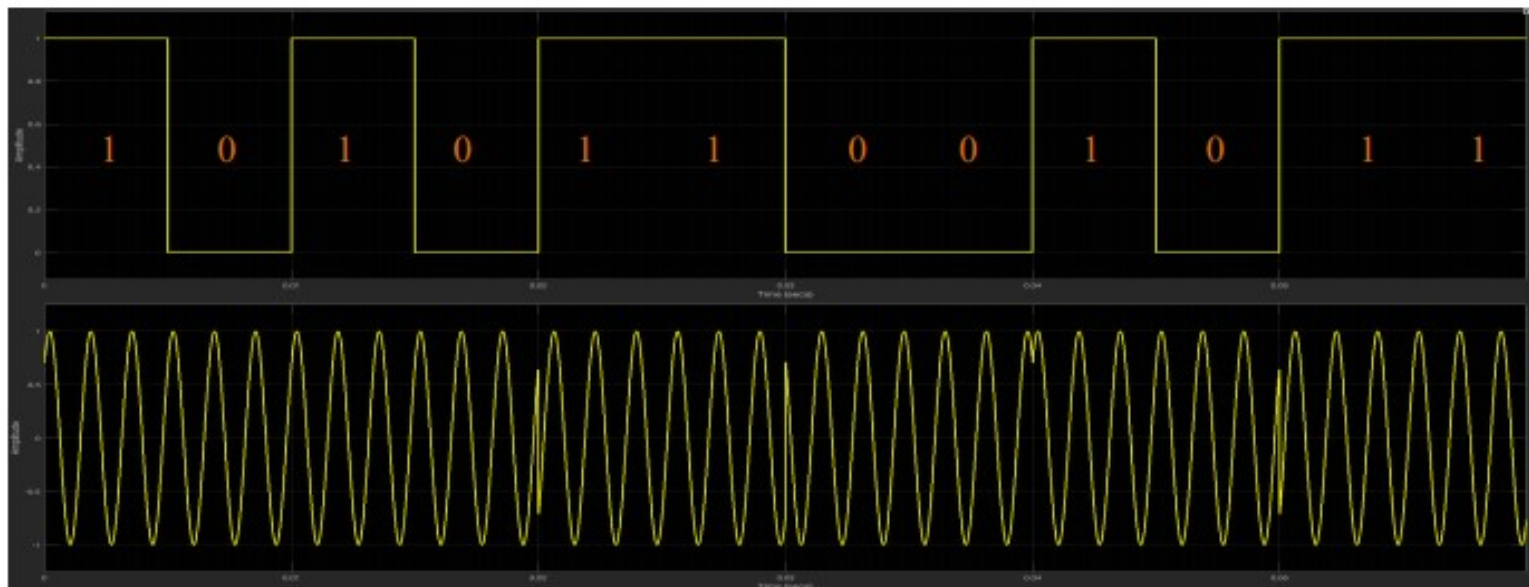
- Elle consiste à transmettre une sinusoïde de fréquence  $f_p$  et d'amplitude  $A$  constantes dont **on fait varier la phase** d'un angle fixé selon la valeur des bits à transmettre.
- **PSK** : Différence de phase par rapport à une horloge de référence ;
- **DPSK** : Différence de phase par rapport à l'ITE précédent.

# Modulation PSK



# Modulation 4-PSK

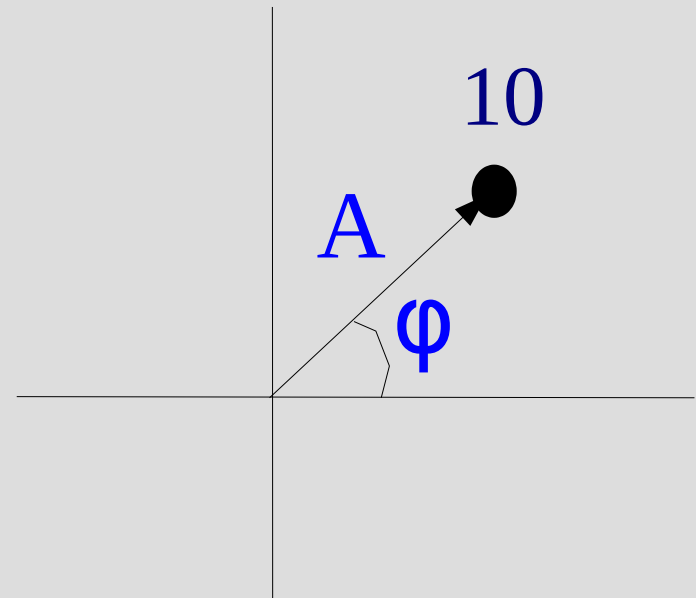
Exemple de mapping pour une 4PSK	
Symboles numériques	Symboles de modulation $\varphi_k$
00	$\pi/4$
01	$3\pi/4$
10	$7\pi/4$
11	$5\pi/4$





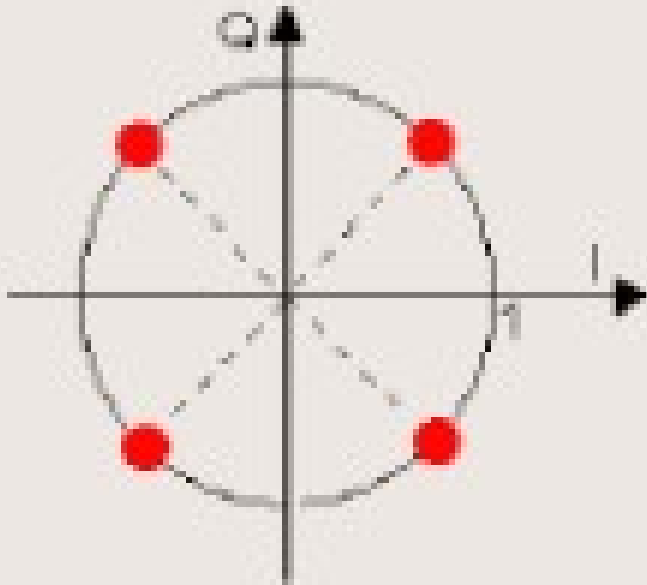
# Constellation

- Représentation des symboles dans un plan :
  - Amplitude du signal,
  - Phase.
- Autant de points que de symboles différents transmis ;
- Nbre de points = Valence.



# Constellation

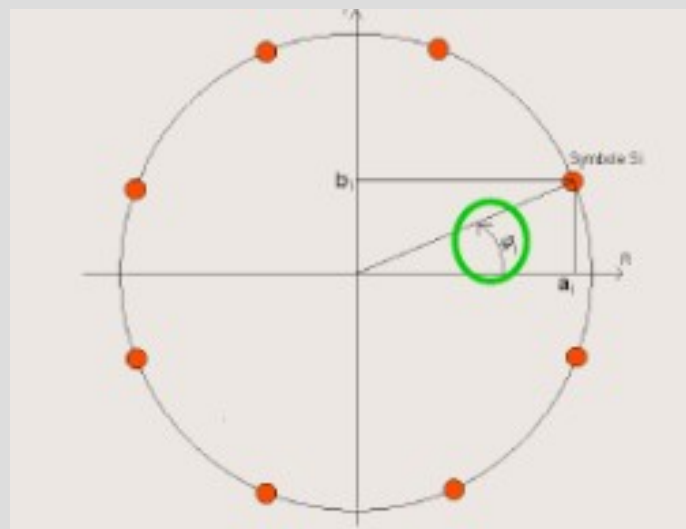
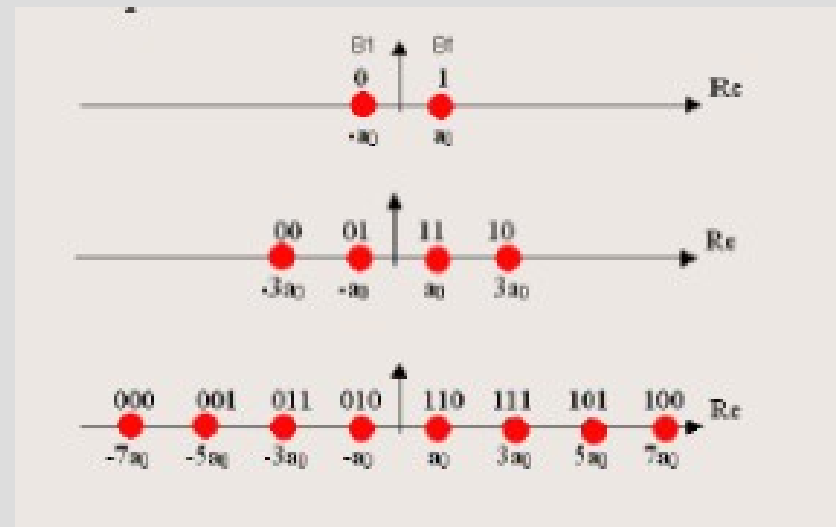
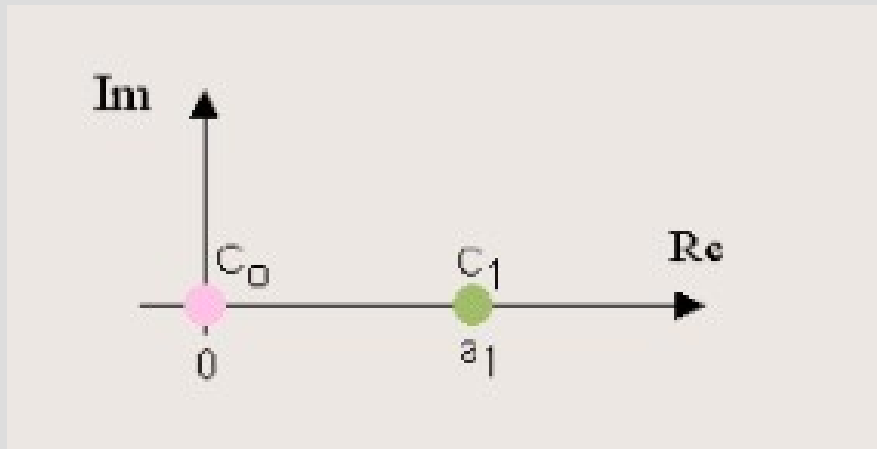
## Exemple 4-PSK



- Valence = 4 ;
- Amplitude constante ;
- $\varphi = \pi/4$  ,  $3\pi/4$ ,  $5\pi/4$  et  $7\pi/4$ .

# Constellation

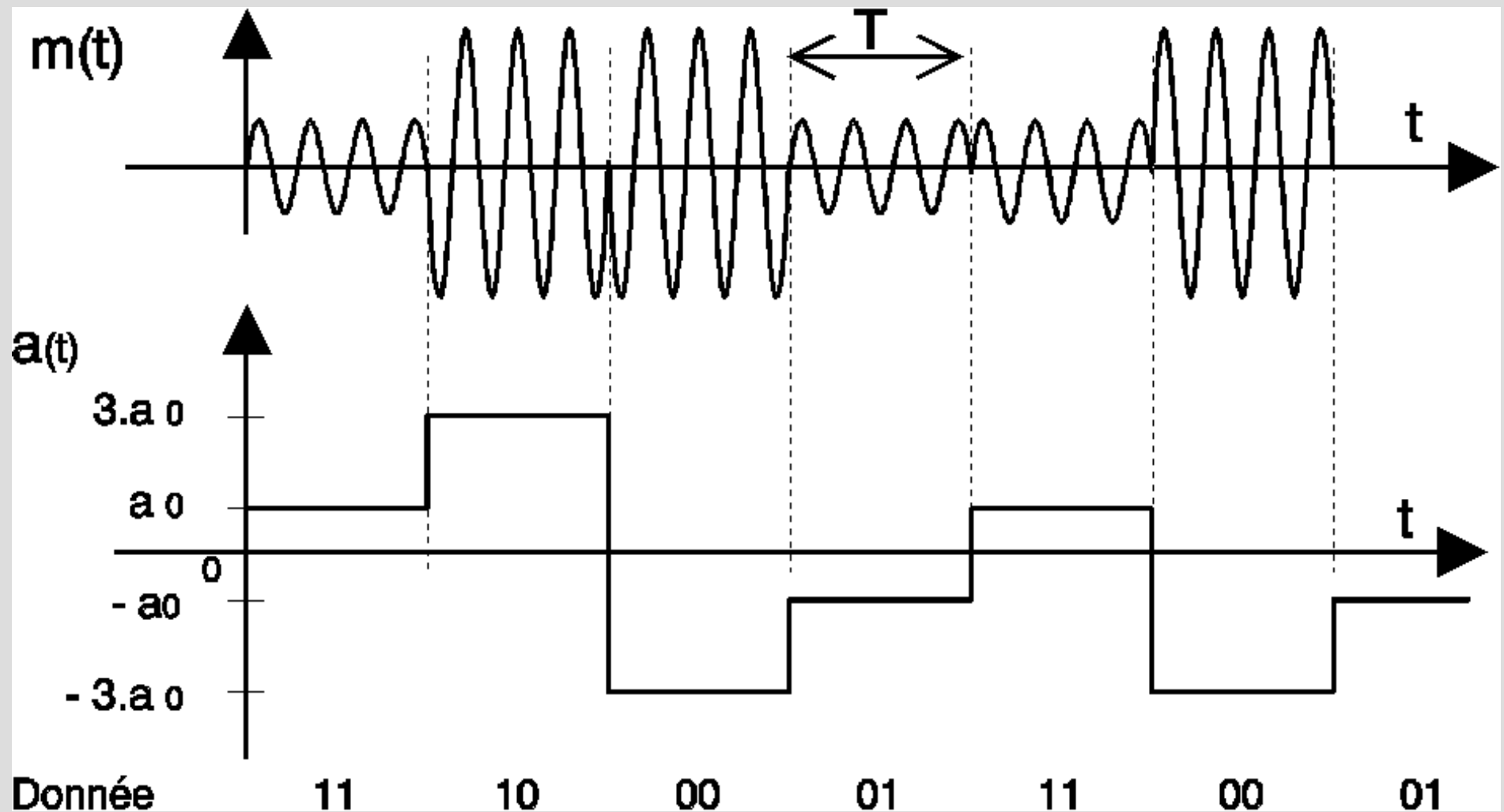
## D'autres exemples



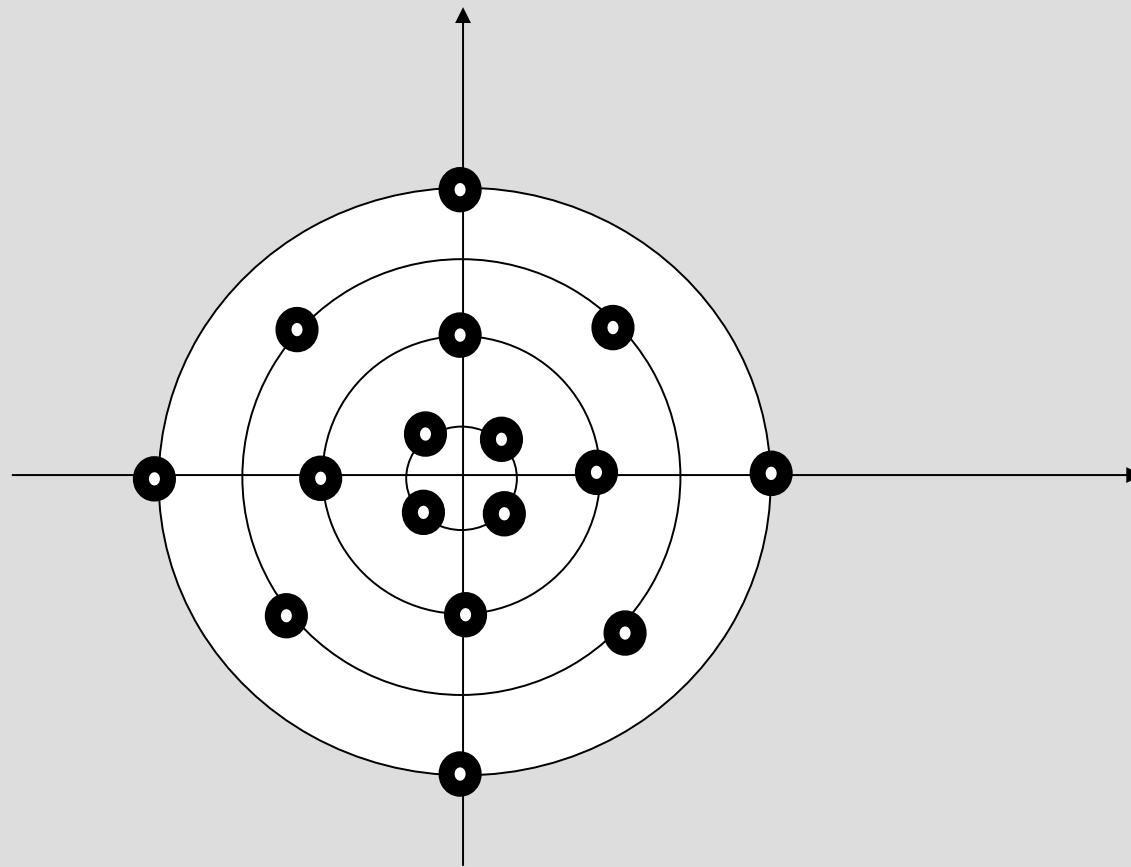
# Modulation A+PSK

- Elle consiste à transmettre une sinusoïde de fréquence  $f_p$  dont on fait varier la phase et l'amplitude selon la valeur des bits à transmettre.
- Intérêt : pouvoir augmenter la valence.

# Modulation A+PSK



# Constellation d'une modulation A+PSK



# Mesures sur la constellation

- Puissance émise :
    - proportionnelle au carré de la distance entre le point de la constellation et l'origine.
  - Immunité aux bruits :
    - plus les points de la constellation sont proches plus l'immunité au bruit diminue.
- => amélioration de la position des points sur la constellation !

# Amélioration possible

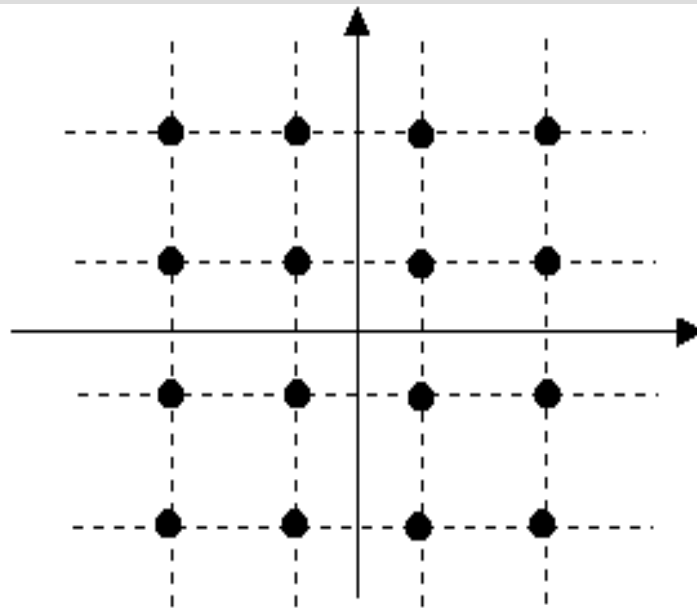
- Répartir différemment les points de la constellation de manière à maximiser la distance entre eux pour une puissance moyenne donnée :

Modulation QAM :

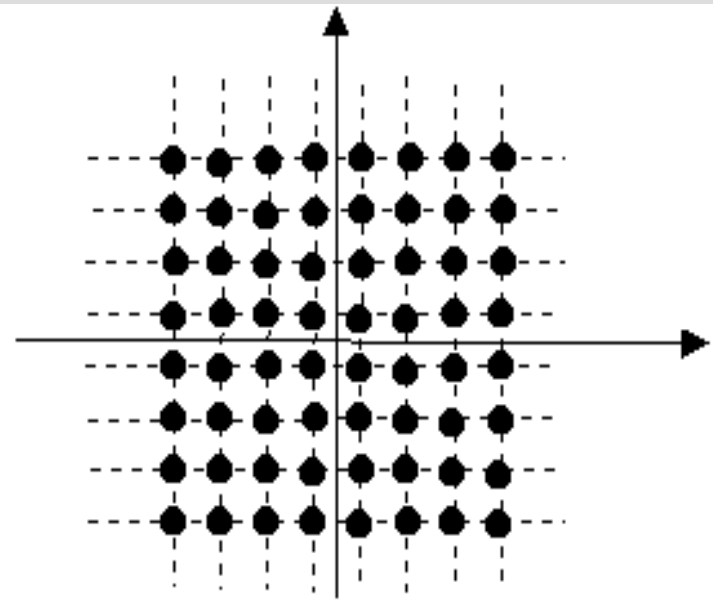
Quadrature Amplitude Modulation



# Constellation d'une modulation QAM

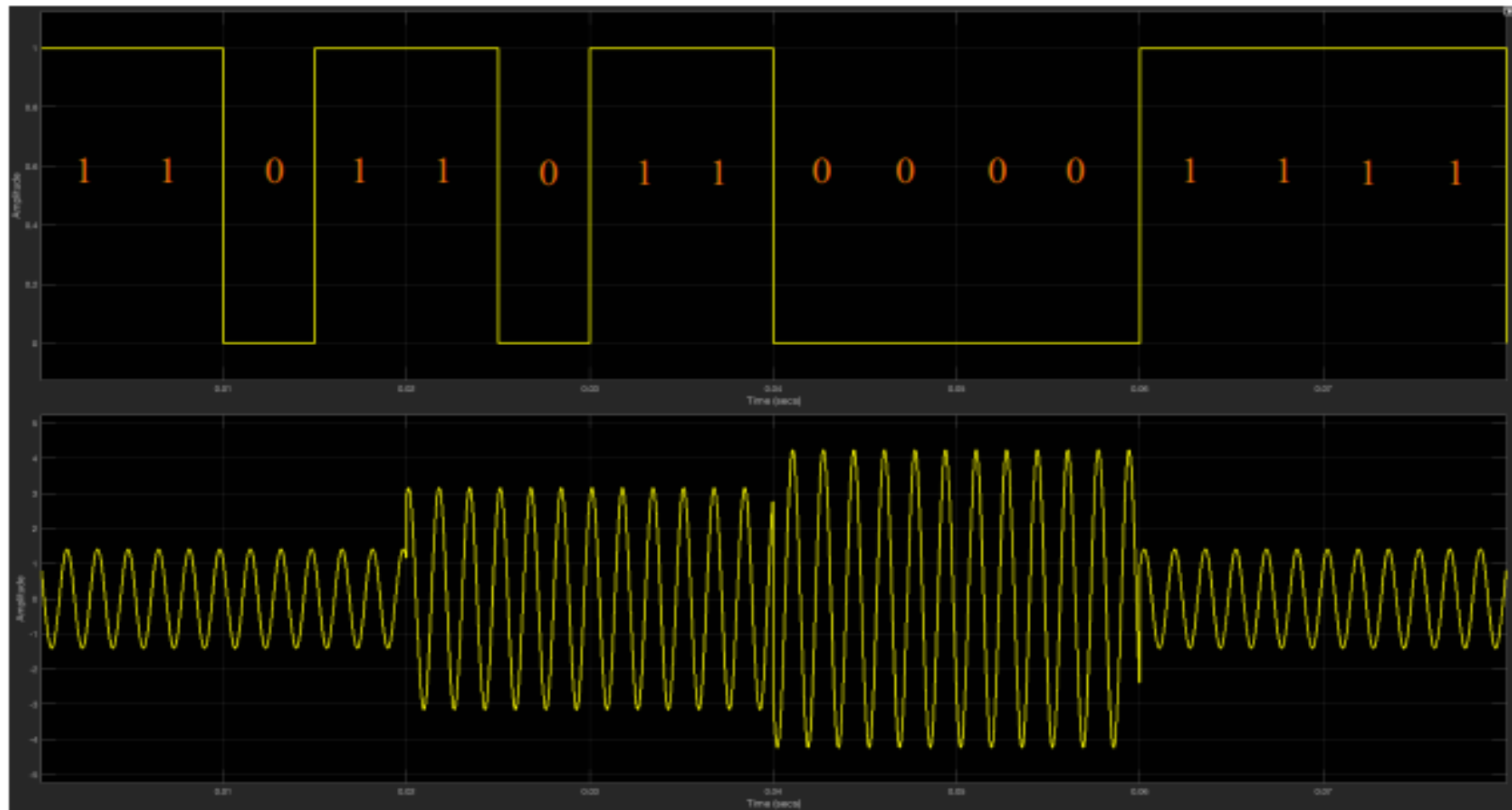


MAQ-16



MAQ-64

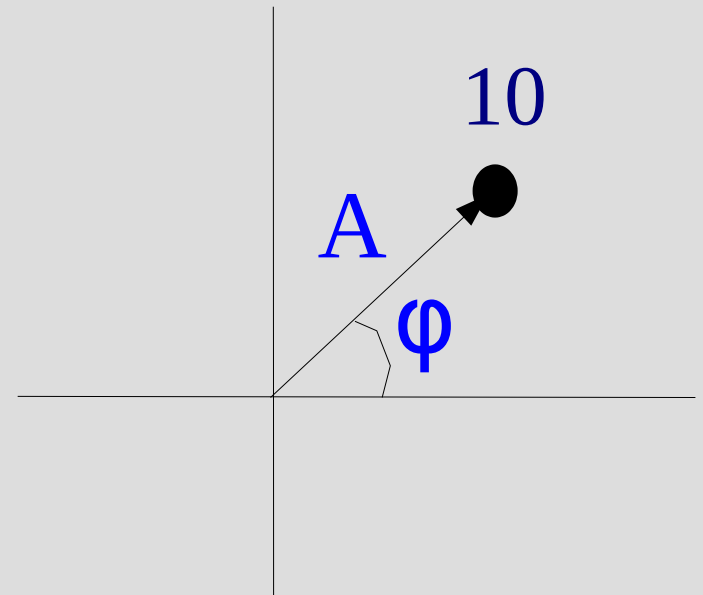
# Modulation 16-QAM



# Modulation IQ

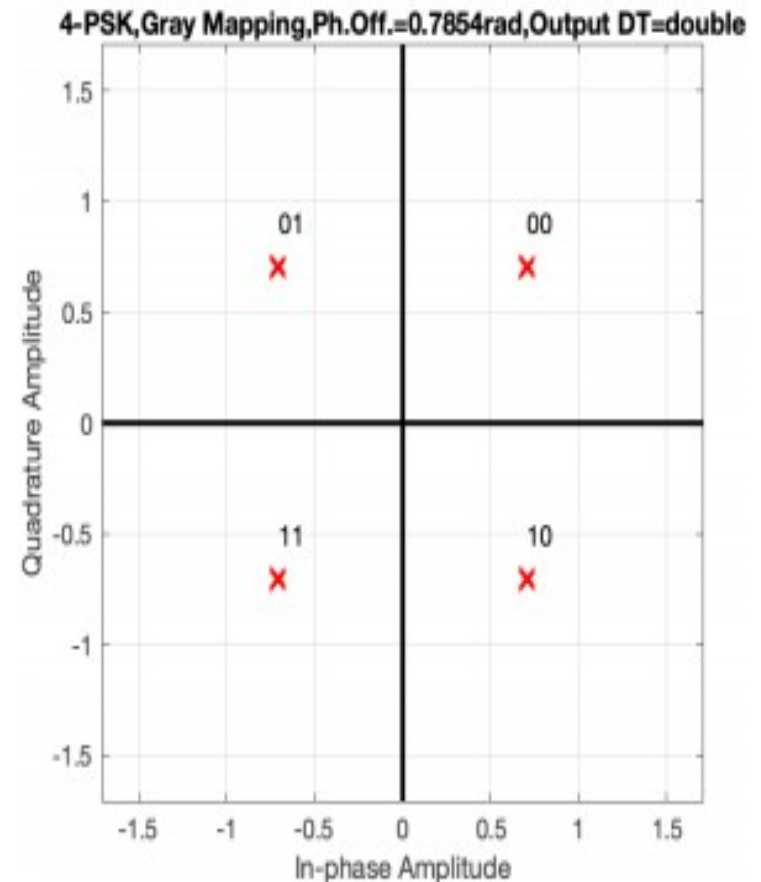
- Un point sur la constellation :
  - $u(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$
  - $u(t) = a \cos(\omega t) + b \sin(\omega t)$

- $\cos(\omega t)$  In phase
- $\sin(\omega t)$  en Quadrature



# Modulation IQ

Exemple de mapping pour une 4ASK		
Symboles numériques	Symboles de modulation $a_k$	Symboles de modulation $\phi_k$
00	1	$\pi/4$
01	1	$3\pi/4$
11	1	$5\pi/4$
10	1	$7\pi/4$
Symboles numériques	Symboles de modulation $i_k$	Symboles de modulation $q_k$
00	0.707	0.707
01	-0.707	0.707
11	-0.707	-0.707
10	0.707	-0.707



# Caractéristiques

- Probabilité d'erreur par bits transmis,
- Occupation spectrale,
- Débit souhaité,
- Complexité du récepteur.