

## Transmission d'un signal numérique

- 1. Introduction
- 2. Transmission en bande de base
- 3. Modulation d'une porteuse
  - Amplitude
  - Fréquence
  - Phase
  - Phase - amplitude

## Modulation d'une porteuse

### Rappel sur la bande de base

- Inconvénients :
  - Nécessite une large bande passante, avec en particulier
  - Une faible déformation aux basses fréquences
- Supports adaptés :
  - Les coaxiaux => mais coût élevé
  - Remplacés par les paires symétriques
    - => Intéressant sur les courtes distances
    - => s'améliorent avec les progrès technologiques

## Modulation d'une porteuse

### Points forts de la modulation d'une porteuse

- Pas de contrainte sur les basses fréquences
- => une quelconque bande passante, assez large, suffit
- Multiplexage fréquentiel possible
- Encombrement spectral **relatif** restreint
- Ex: pour une largeur spectrale de 1 kHz

Porteuse $f_p$	$\Delta F/f_p$
10 KHz	10 %
1 MHz	0,1 %

## Modulation d'une porteuse

### Principe (cf. modulation analogiques)

- Forme générale  $M(t) = a \cos(\omega t + \varphi)$
- A chaque symbole  $\Gamma_i$  correspond un **état**  $(a_i, \omega_i, \varphi_i)$
- A chaque coup d'horloge, l'état change

### • Notion de valence :

- Très pratiquées, la modulation à  $m=2^n$  états
- $m$  est la valence,  $n$  le nombre de bits codés par un symbole

- **Débit binaire** (bit/s) et **Vitesse de modulation** (bauds)

$$D = R \log_2(m)$$

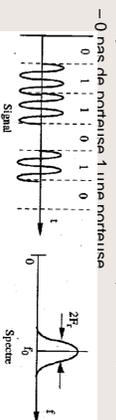
### • Modulation cohérente :

- Classe importante de modulation
- La période de l'horloge est un multiple de la période de la porteuse

## Modulation d'amplitude

- Souvent appelée **modulation à saut d'amplitude** pour marquer le caractère discret (ASK : Amplitude Shift Keying)
- A chaque niveau correspond une valeur d'amplitude

- Cas le plus courant : le **tout ou rien** (OOK : On, Off Keying)



- Démodulation par détection d'enveloppe

- Ex: transmission par fibre optique

## Modulation de fréquence

- Souvent appelée **modulation à saut de fréquence** pour marquer le caractère discret (FSK : Frequency Shift Keying)

- Cas le plus courant : modulation à 2 états

$$0 \Rightarrow f = f_0 ; 1 \Rightarrow f = f_1 \text{ (avec } f_0 > f_1 \text{ ou } f_0 < f_1)$$

- Mêmes avantages et inconvénients qu'en analogique

### • Applications :

- Télécommande
- Modem à 1200 Bauds sur ligne téléphonique (Minitel)
- Faisceaux hertziens à bas débit
- Enregistrement sur bande magnétique

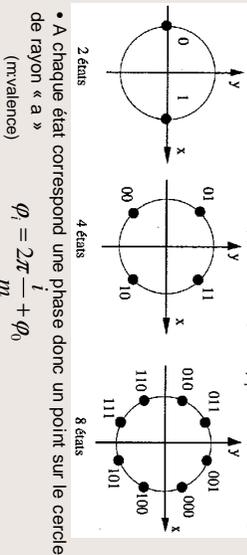
## Modulation de phase

### • C'est la plus utilisée!!!!

(PSK : Phase Shift Keying)

- Représentation simple dans le plan complexe (dit plan de phase)

$$M(t) = a \cos(\omega t + \varphi_1) = \Re(a e^{j(\omega t + \varphi_1)})$$

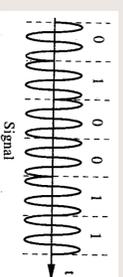


- A chaque état correspond une phase donc un point sur le cercle de rayon « a »
- $$\varphi_1 = 2\pi \frac{l}{M} + \varphi_0$$

## Modulation de phase

Cas à 2 états

- Similaire à la modulation d'amplitude
- Modulation par multiplication du signal par 1 ou -1



- Note : la modulation cohérente
  - Demodulation plus complexe
    - Utilisation d'une boucle à verrouillage de phase
    - Synchronisation de l'horloge par envoi de messages connus
- => Éviter une erreur de phase

## Modulation de phase

Cas à 2<sup>n</sup> états

- Astuce :  $M(t) = a \cos(\omega t + \varphi_1)$

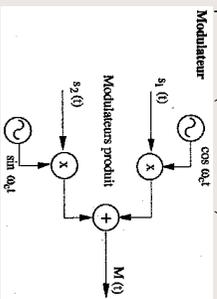
avec  $x = \cos(\varphi_1)$

$$= x \cos(\omega t) - y \sin(\omega t) = x \cos(\omega t) + y \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$y = \sin(\varphi_1)$

=> modulation dite en double quadrature (à cause du  $\pi/2$ )

Schéma :



## Modulation de phase

Cas à 4 états

- Très simple en particulier pour quatre états

$\varphi$	$\pi/4$	$3\pi/4$	$5\pi/4$	$7\pi/4$
x	1	-1	-1	1
y	1	1	-1	-1
État	11	01	00	10

=> correspond à un code de Gray  
(dans l'ordre des angles croissants)

Cas à 8 états

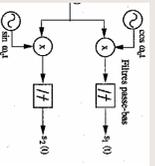
=> correspond aussi à un code de Gray avec 3 bits

## Modulation de phase

Schéma : Demodulation

- Principe :
  - $M(t) \cdot \cos(\omega t) = \frac{x(t)}{2} + \frac{x(t)}{2} \cos(2\omega t) + 0 + \frac{y(t)}{2} \sin(2\omega t)$
  - + filtre passe-bas => x(t)

- idem avec  $\sin(\omega t)$  => y(t)



- Difficultés :
  - Récupération de la phase de la porteuse  $M(t) \cdot \cos(\omega t + \varphi) \Rightarrow \frac{M(t)}{2} \cos(\varphi)$
  - Se fait à  $k \cdot \pi/2^{(k-1)}$  près par élimination des angles impossibles
  - Puis par levée de l'ambiguïté

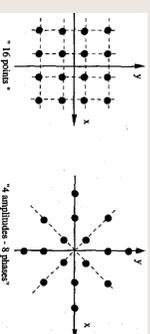
## Modulation de phase-amplitude

Constat :

Au-delà de 8 états, les états en modulation de phase sont trop rapprochés pour une régénération correcte

Principe :

- Modulation combinée en phase et en amplitude.
  - Appelée MAQ (modulation d'amplitude en quadrature)
- Ex : modulation à 16 états (très utilisée)



- Note :
- Bonne disposition des états => Code de gray
  - Plusieurs configurations possibles

## Régénération

**Régénération par maximum de vraisemblance :**  
– On calcule pour chaque signal reçu les  $n$  corrélations

$$c_j = \int_{t_0}^{t_0+T} M(t) S_j^*(t) dt$$

– On détermine la valeur  $j$  correspondant au  $\text{MAX}\{c_j\}$   
=>  $j$  est désigné comme le symbole reçu