

Transport d'un signal analogique par modulation d'une porteuse

- 1. Principe et Intérêts
- 2. Modulation d'amplitude
- 3. Modulation de phase
- 4. Modulation de fréquence
- 5. Exemple : Stéréo et RDS

Principe et intérêts

Principe

Soit une fréquence fixe f_p appelée **porteuse**, le principe du transport par modulation d'une porteuse consiste non pas à transmettre directement le signal mais à transmettre un autre signal défini par :

$$M(t) = a(t) \cos(2\pi f_p t + \phi(t))$$

$a(t)$ et $\phi(t)$ sont des fonctions simples du signal. Elles dépendent du type de modulation.

Intérêts

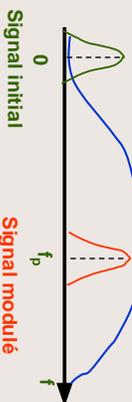
Cette transformation permet de « **transposer** » le spectre en fréquences du signal aux voisinages de la fréquence porteuse f_p . Il est alors possible :

Principe et Intérêts

Intérêts (suite)

1- d'exploiter un support dans une bande de fréquences où l'atténuation, les déformations... sont moins importantes.

Bande passante

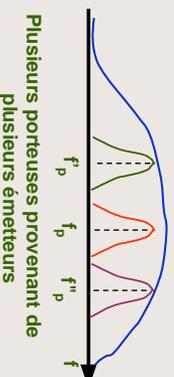


Principe et Intérêts

Intérêts (suite)

2- d'optimiser l'usage du support en exploitant toute sa bande passante. Par exemple, **différents émetteurs** modulent **différentes portuses**

Bande passante



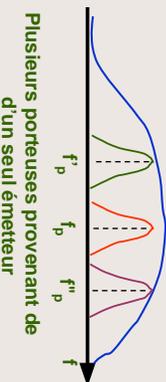
Principe et Intérêts

Intérêts (suite)

3- d'optimiser l'usage du support en exploitant toute sa bande passante. Par exemple, **un seul émetteur** répartit ses données **sur différentes portuses**

C'est le **multiplexage fréquentiel**

Bande passante



Modulation d'amplitude

Principe

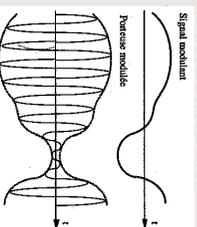
$\phi(t)$ est constante
 $a(t) = a(1+m.s(t))$ avec :
 a et m constantes

m : **indice de modulation** (en générale $m < 1$)

Note : en anglais, « Amplitude Modulation »

=> AM des Grandes/ Petites Ondes

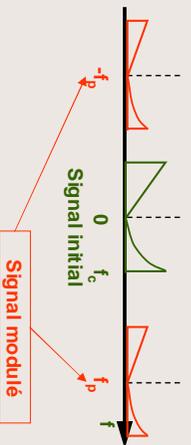
Exemple :



Modulation d'amplitude

Spectre

- Le spectre du signal initial est transposé autour de la fréquence de la porteuse (et son opposé en notation complexe)
- La largeur spectrale du signal envoyé (après modulation) ne dépasse pas $2f_c$



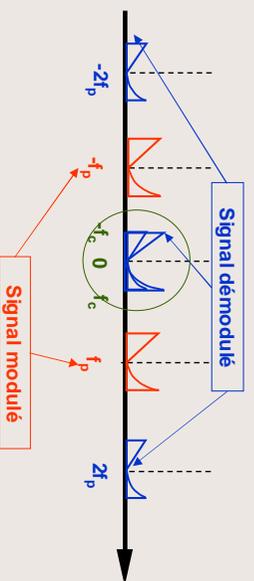
Michel BEUVE / Transmissions de données / Master 1

7

Modulation d'amplitude

Démodulation synchrone

- **Objectif** : récupérer, après réception, le signal d'origine
- **Principe** : re-modulation par la fréquence porteuse
- Il s'agit de la modulation en Double Bande Latérale (DBL)



Michel BEUVE / Transmissions de données / Master 1

8

Modulation d'amplitude

Démodulation synchrone (suite)

Un filtrage **passe-bas** de fréquence de coupure f_c
=> Reconstruction du signal

Mais :

(i) Il faut $f_c < f_p$ (en fait $2 \cdot f_c < 2 \cdot f_p$)
=> Non recouvrement (ou repliement)

Après démodulation :

(ii) Le signal est **reconstruit doublement**

=> Solution: modulation en BLU (Bande Latérale Unique cf. TD)

(iii) Une partie de l'**énergie** (autour de $2f_p$ et $-2f_p$) **ne sert pas**

et de la **phase**

En effet, si on note ϕ le déphasage entre la porteuse et la sinusoïde du démodulateur,

Michel BEUVE / Transmissions de données / Master 1

9

Modulation d'amplitude

Démodulation synchrone (suite)

$M(t) * \cos(\omega_c t + \phi) = \frac{1}{2} s(t) \cos(\phi) + \frac{1}{2} s(t) \cos(2\omega_c t + \phi)$
=> l'amplitude du signal reconstruit décroît avec ϕ et peut même s'annuler

Lors de l'émission :

(v) Besoin d'une **énergie importante pour la porteuse**

Ex: Pour un signal sinusoïdale:

- Puissance porteuse $P_c = a^2/2$

- Puissance d'émission $(1+m^2/4) \cdot a^2/2 = (1+m^2/4) \cdot P_c$

=> Puissance du signal $m^2/4 \cdot P_c \ll P_c$ car $m < 1$

Une solution: augmenter m ???

Si m est trop grand il est difficile de récupérer la porteuse et sa phase => démodulation délicate

Démodulation asynchrone (cf. TD)

Michel BEUVE / Transmissions de données / Master 1

10

Modulation d'amplitude

Avantages de la MA :

- Simple, Facile à démoduler
- Coût faible
- Encombrement spectral très faible

Inconvénients de la MA :

- Très sensible aux fluctuations de puissance transmises
- Aux distorsions au temps de propagation
- Aux effets non linéaires
- Sensible aux bruits

$$S/B = m^2 \cdot \frac{P_c}{P_s}$$

=> Explique la qualité moyenne de la radiodiffusion en MA (petites, moyennes et grandes ondes)

Application de la MA :

- Support ou la déformation des signaux et les fluctuations d'amplitudes sont faibles

Michel BEUVE / Transmissions de données / Master 1

11

Modulation de phase

Principe :

(Cas particulier de la modulation angulaire)

$a(t)$ est constante

$\phi(t) = m \cdot s(t)/s_0$ avec

- m constante

- $s_0 = \text{MAX} |s(t)|$

m : **indice de modulation**

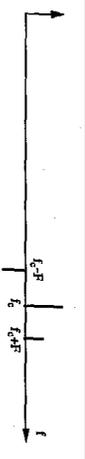
Michel BEUVE / Transmissions de données / Master 1

12

Modulation de phase

Spectre :

- Complexe et dans certains cas similaire avec les spectres en modulation de fréquence



Spectre en modulation angulaire pour m petit

Formule de Carson

Bande de fréquence occupée par l'essentiel du signal modulé

$$\Delta f = 2 \cdot (m+1) \cdot F_{\max}$$

Fmax : Fréquence maximale du signal

=> m+1 rates de chaque côté de la porteuse

Note : les autres rates peuvent brouiller d'autres signaux

Modulation de phase

Avantages :

- Peu sensible aux fluctuations de puissance transmise
- Peu sensible aux effets non linéaires

Inconvénients :

- Sensible aux distortions du temps de propagation (signaux sensible à la phase donc au retard de phase)
- Encombrement spectral important
- Sensible aux bruits

$$S/B = m^2 \cdot \frac{P_c}{P_b}$$

Modulation de Fréquence

Principe

(Cas particulier de modulation angulaire)

a(t) est constante

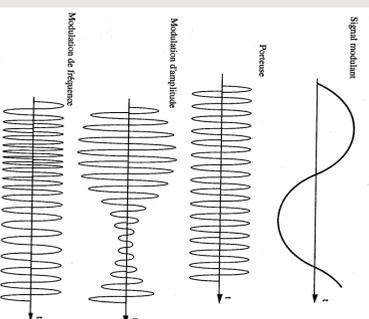
$$\frac{d\phi}{dt} = \Delta\omega = \frac{s(t)}{s_0} \quad \text{avec}$$

- $\Delta\omega$ constante
- $s_0 = \text{MAX}\{s(t)\}$

$$\Delta f = \Delta\omega / 2\pi : \text{Excursion en fréquences}$$

Note : en anglais, « Frequency Modulation »
=> FM de la radiodiffusion

Modulation de Fréquence



Modulation de fréquence

Lien avec la modulation de phase

EX : Pour $s(t) = s_0 \cos(\Omega t)$

$$\Rightarrow \phi(t) = (\Delta\omega / \Omega) \cdot \sin(\Omega t) = (\Delta f / f_c) \cos(\Omega t - \pi/2)$$

Par analogie on définit :

$m = \Delta f / f_{\max}$: **indice de modulation**

f_{\max} : **fréquence de coupure du signal s(t)**

Exemple en Radiodiffusion FM:

$$\Delta f = 75 \text{ KHz}$$

$$f_{\max} = 15 \text{ KHz}$$

$$\Rightarrow m = 5$$

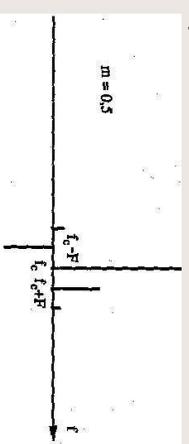
Modulation de fréquence

Spectre

- Le spectre du signal initial est **transformé** en un spectre relativement complexe situé au voisinage de la fréquence de la porteuse (et son opposé en notation complexe)

Cas simple :

- s(t) signal **sinusoidal**
- m **petit**



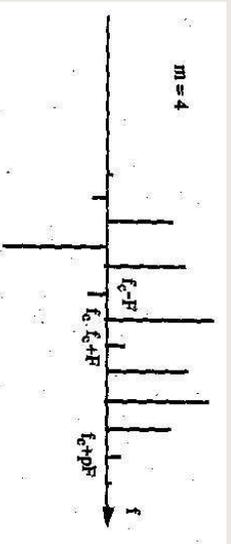
Modulation de fréquence

Spectre (suite)

Autre exemple :

- s(t) signal sinusoïdal
- m assez grand

(fait apparaître des fonctions de Bessel)



Modulation de fréquence

Spectre (suite)

Finalement, par rapport à la MA :

⇒ Le spectre est en générale plus large et plus complexe
(cf. Formule de Carson : $\Delta f = 2.(m+1).F_{max}$)

Modulation de Fréquences écrites

(SFM : Square Frequency Modulation)

Application :

- Transmission par fibre optique
- Signal Vidéo enregistré sur Bande Magnétique
- Vidéo disque optique

Modulation de fréquence

Démodulation

Par discriminateur

- Un filtre très linéaire au voisinage de f_c : $G(\omega) = A + B.(\omega - \omega_c)$
- $M(t) \sim a \cos(\omega t + \Delta\omega_s(t)) \Rightarrow d[A + B\Delta\omega_s(t)]. \cos(\omega t + \Delta\omega_s(t))$
=> double modulation amplitude phase
- Une détection d'enveloppe
=> $A + B. \Delta\omega. s(t)$
- **Boucle à verrouillage de phase**
- Un oscillateur à fréquence commandée en tension v
 $F = f_0 + K. v$
- Un comparateur de phase
- Un montage en boucle qui impose la valeur de v dominant un déphasage nul
- Un filtre de boucle qui enlève la porteuse

Modulation de fréquence

Avantages :

- Usage courant
 - Peu sensible aux fluctuations de puissance transmise
 - Peu sensible aux effets non linéaires
 - Peu sensible aux bruits
- $$S/B = 3m^2 \cdot \frac{P_c}{P_n}$$

=> FM de meilleure qualité que les Grandes ondes....

Inconvénients :

- Moins simple que la MA
- Encombrement spectral important
- Sensible aux distorsions du temps de propagation

Applications:

- Radio diffusion à portée limitée
radio locale, mobile, télécommande...
- Support à large bande passante ou peu occupé
- Fréquences élevées (encombrements moins importants)

Détection hétérodyne

Principe :

En réception, transposition du signal reçu dans une **zone de fréquence intermédiaire** grâce à un oscillateur local

Avantages :

- Economie : Un seul démodulateur quelque soit le canal (TV, son)
- En très hautes fréquences et hyperfréquences:
- les circuits de démodulation sont très complexes
=> signal transposé vers un domaine où la démodulation est simple

Exemple :

- En radiodiffusion FM
- Bande : 87 à 108 MHz
- Fréquence Intermédiaire : 10, 7 MHz

Exemple d'utilisation du multiplexage fréquentiel

Stéréo et RDS :

- **(Gauche + Droite)** : dans la bande 0-15KHz
⇒ Possible d'écouter avec un récepteur mono
⇒ Moins de bruit en mono (somme de deux signaux corrélés)

- **(Gauche – Droite)** : Porteuse à 38 KHz

- **RDS** (Radio Data System) : Porteuse à 53 KHz
=> Informations supplémentaires (nom de la radio)