

## Chapitre4

### Performances des différentes modulations en présence du bruit

#### 4.1. Introduction

Ce qui importe avant tout pour l'utilisateur d'un système de transmission, c'est la qualité du message reçu. Celui-ci devra être une réplique aussi semblable que possible du message émis.

Or, le processus de transmission conduit inévitablement à une dégradation du message dont la cause incontournable est le bruit que l'on rencontre dans tous les équipements électroniques. Celui-ci va se superposer au signal reçu et perturber l'intelligibilité du message.

Chaque modulateur présente un comportement différent vis-à-vis du bruit. Il convient d'examiner les effets du bruit sur la qualité de la transmission, en fonction des différentes techniques de modulation, pour aboutir à une esquisse de comparaison.

#### 4.2. Définition d'un bruit

Le bruit est l'ensemble des signaux aléatoires indésirables qui s'ajoutent au signal utile lors de sa transmission. Ces signaux sont causés par les mouvements aléatoires des charges dans les circuits.

#### 4.3. Sources de bruit

Il est possible de classer les sources de bruit de la façon suivante :

**A)** Bruits d'origine naturelle :

- Le bruit thermique terrestre.
- Les parasites atmosphériques (éclairs).
- Bruit de la radiation solaire et cosmique.

**B)** Bruits d'origine artificielle liée à l'activité humaine et industrielle, par exemple des perturbations générées par des appareils et des machines.

**C)** Signaux parasites des autres systèmes de télécommunications : Les émetteurs de télévision, la radio, la téléphonie mobile, WIFI, Bluetooth...

**D)** Bruit d'origine interne au système de télécommunication, créé par les circuits électroniques de l'émetteur et du récepteur. On cite :

- Bruit thermique qui provient des déplacements aléatoires des électrons libres dans un milieu dissipatif sous l'effet de la température.

- Bruit quantique (ou bruit de grenaille) qui due aux fluctuations des porteurs de charges qui passent par une barrière de potentiel. Par exemple dans les jonctions à semi-conducteur.

- Bruit scintillation : provient des défauts existant dans le réseau cristallin d'un semi-conducteur.

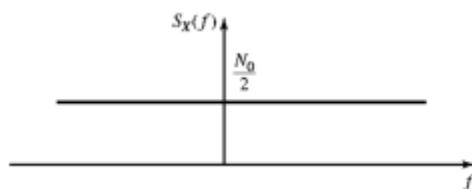
#### 4.4. Bruit blanc gaussien additif (AWGN)

##### Définition

Un bruit blanc gaussien additif (AWGN pour : Additif White Gaussian Noise) est un signal de bruit avec les caractéristiques suivantes :

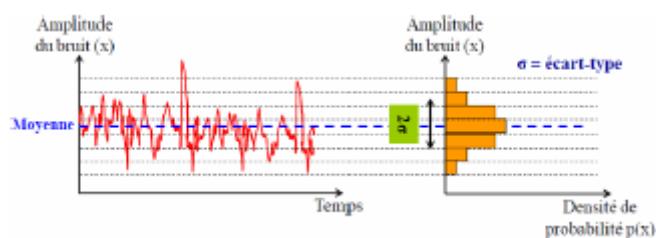
**A) Additif** : il s'additionne au signal utile.

**B) Blanc** : sa densité spectrale de puissance est constante pour toutes les fréquences de la bande passante (Figure 1). Le terme « Blanc » fait l'analogie avec la lumière blanche qui mélange toutes les fréquences lumineuses.



**Figure 1** : La densité spectrale de puissance de bruit blanc.

**C) Gaussien** : Un bruit gaussien est une quantité aléatoire d'amplitude imprévisible, mais qui suit une distribution gaussienne (Figure 2).



**Figure 2** : L'amplitude d'un bruit en fonction du temps et sa densité de probabilité gaussienne.

#### 4.5. Mesure quantitative de la qualité d'une transmission

Le signal de sortie du récepteur peut s'écrire,  $m(t)$  étant le signal de modulation initial :

$$y(t) = k m(t) + \text{termes de bruit}$$

La qualité de la transmission sera d'autant meilleure que les termes de bruit seront faibles devant le terme de message. On évalue quantitativement cette qualité par le rapport S/B

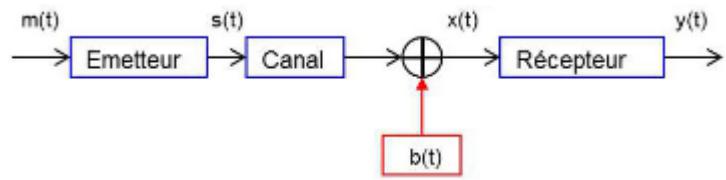
$$\frac{\text{Signal}}{\text{Bruit}} = \frac{\text{puissance composante message en sortie du récepteur}}{\text{puissance composante bruit en sortie du récepteur}}$$

#### 4.6. Modélisation du système de transmission

Le circuit correspondant est représenté ci-contre.

Le signal  $m(t)$ , message à transmettre, a pour largeur de bande  $B$ .

Dans le cas général, c'est un signal aléatoire stationnaire et centré. Sa puissance est de la forme :



$$P_m = \int_{-B}^{+B} S_{mm}(f) df ; \quad S_{mm} : \text{densité spectrale de puissance}$$

L'émetteur fabrique, à partir de  $m(t)$ , le signal modulé :

$$s(t) = a(t) \cos\{2\pi f_0 t + \varphi(t)\}$$

$s(t)$  est un signal aléatoire à bande étroite, stationnaire, de largeur de bande  $B'$  centrée sur  $f_0$ , c'est-à-dire la fréquence porteuse.

le signal reçu au niveau du récepteur est, si l'on néglige la contribution du bruit, égal au signal  $s(t)$  : puissance émise et puissance reçue sont identiques. Le bruit est additif et indépendant du signal émis. Il peut être modélisé par un processus aléatoire gaussien, centré et stationnaire. Il est blanc.

Le récepteur est constitué :

- d'un filtre passe-bande de bande passante égale à  $B'$  de façon à laisser passer les composantes utiles (relatives au signal) et à filtrer les composantes de bruit qui ne sont pas dans la bande du signal ;
- d'un démodulateur ;
- d'un filtre passe-bas de bande passante  $B$  de façon à filtrer les composantes du bruit qui ne sont pas dans la bande du message.

Le canal peut être considéré comme un filtre linéaire de gain constant et de phase linéaire sur une largeur de bande au moins supérieure à  $B'$ . Il est donc transparent vis-à-vis du signal

Le rapport signal/bruit dépend du type de modulation et de démodulation choisie. Il importe de faire la comparaison de ces différents rapports sur une base commune à tous les systèmes.

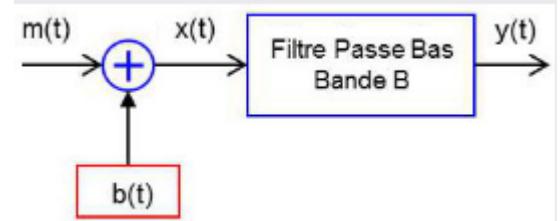
#### 4.7. Rapport S/B en bande de base et gain de modulation

On va supposer que l'on dispose d'une même puissance  $P$  pour transmettre le signal modulé. Cette puissance est également la puissance reçue au niveau du récepteur.

Calculons donc ce rapport de référence ( $S/B$ )<sub>s</sub> de la transmission en bande de base. c'est-à-dire sans modulation

$$\begin{cases} x(t) = m(t) + b(t) \\ y(t) = m(t) + b'(t) \end{cases}$$

$b'(t) = b(t)$  filtré dans  $[-B, +B]$



Densité spectrale de bruit :

$$S_{bb'}(f) = \begin{cases} \frac{N_0}{2} & -B < f < +B \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases}$$

Puissance de bruit :

$$P_b = N_0 B$$

Puissance du signal :

$$P_m(t) = P$$

On a donc :

$$(S/B)_s = \frac{P}{N_0 B}$$

On posera :

$$\gamma = \frac{P}{N_0 B}$$

Ce rapport servira de référence pour comparer les différents types de modulation.

On définit le gain de modulation (ou facteur de mérite) par :

$$\eta = \frac{1}{\gamma} \frac{S}{B}$$

(S/B) étant le rapport signal/bruit pour chaque type de modulation,

P étant la puissance du signal modulé.

#### 4.8. Comparaison du SNR entre les différentes modulations

- En modulations d'amplitude le signal information est contenu dans l'amplitude de la porteuse et comme le bruit est additif il s'additionne au signal qui porte l'information.
- En modulations angulaires, le signal information est contenu dans la phase de la porteuse donc le bruit additif ne peut pas l'atteindre. Pour cela le SNR en FM/PM est meilleur que dans les modulations d'amplitude, et la qualité de la transmission est meilleure.