



UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY MOHAMED BOUDIAF - ORAN  
ELECTRONICS DEPARTEMENT  
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING

# COMMUNICATION ANALOGIQUE

POLYCOPIÉ DE COURS  
L3 TÉLÉCOMMUNICATIONS

COURS DE :  
**Mr. BETTAHAR**

Voir la version originale : \*

Chapitre 1 : <https://ustotc.com/s5/files/CA/Chapitre-1-Comunication-Analogique.docx>

Chapitre 2 : <https://ustotc.com/s5/files/CA/Chapitre-2-Comunication-Analogique.docx>

Chapitre 3 : <https://ustotc.com/s5/files/CA/Chapitre-3-Comunication-Analogique.docx>

Chapitre 4 : <https://ustotc.com/s5/files/CA/Chapitre-4-Comunication-Analogique.docx>

Chapitre 5 : <https://ustotc.com/s5/files/CA/Chapitre-5-Comunication-Analogique.docx>

Chapitre 6 : <https://ustotc.com/s5/files/CA/Chapitre-6-Comunication-Analogique.docx>

Chapitre 7 : <https://ustotc.com/s5/files/CA/Chapitre-7-Comunication-Analogique.docx>

Trouver cette version : \*

<https://ustotc.com/s5/files/CA/CA-Polycopie-Cours-Communication-Analogique-ustotc-2020.pdf>

Voir plus: \*

<https://ustotc.com>

Rédition – Mise en page :

Merah MOKHTAR

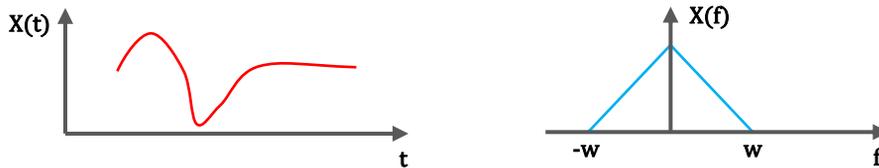
\* Si le lien ne marche pas, veuillez essayer avec [ustotc.netlify.app](https://ustotc.netlify.app) (Un domaine permanent)

2020/2021

# CHAPITRE 1: Chapitre descriptif de la Modulation

## 1) Nature physique du message:

Un signal (message) est un signal transportant une information.



$w$  : Bande Passante  $[0 \ w]$

### a – $m(t)$ peut être un signal audio/son :

- Téléphone : PB  $[0 \ 5 \text{ KHz}]$
- Son Stéréophonique : PB  $[20 \text{ Hz} \ 20 \text{ KHz}]$
- BP  $[0 \text{ Quelques centaines KHz}]$  :
  - $\omega$   $[1 \text{ MHz} \text{ – } 700 \text{ MHz}]$  Coaxial
  - $\omega$   $[700 \text{ MHz} \text{ – } 100 \text{ GHz}]$  Guide d'onde
  - $\omega$   $[100 \text{ GHz} \text{ – } 1300 \text{ GHz}]$  Fibre optique  $\gamma = c/f$

### Signal :

- NAF, VHF, FM : Coaxial.
- RTA, Liaison satellite : Guide d'onde.
- Optique : Fibre optique.
- RF : Satellite atmosphère émission radio BGO.

### b – $m(t)$ peut être un signal Vidéo/Image :

- Cas d'une image standard (image tv classique) : BP  $[0 \text{ – } 5 \text{ MHz}]$  , Norme algérienne
- Cas d'une image HD (Haute Définition) : BP  $[0 \text{ – } 10 \text{ MHz}]$
- Cas d'une image 3D : BP  $[0 \text{ – } 15 \text{ MHz}]$

### c – $m(t)$ peut être un signal issue d'un capteur physique :

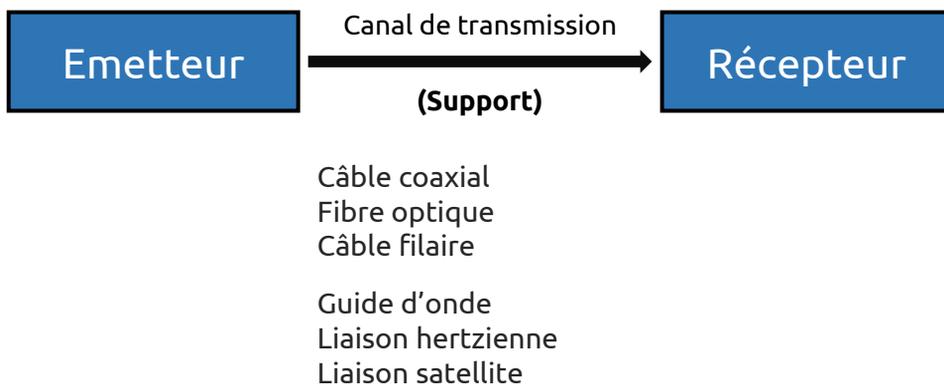
- Température, Pression, Masse, Niveau... : BP  $[0 \text{ – } \text{Fréquence basse Hz}]$

## 2) Différents types de modulation :

X(t) ANALOGIQUE		X(t) NUMÉRIQUE
Porteuse sinusoïdal	Porteuse carrée	- PSK
- AM / FM	- Modulation impulsionnelle en amplitude	- ASK
- DB / CRS	- Echantillonnage	- FSK
- SSB	- Modulation impulsionnelle en durée	- QPSK
- ISB	- Modulation impulsionnelle en fréquence	- QAM
- BCA		
- QAM		

## 3) Pourquoi la modulation ?

Soit une chaine de transmission :



# CHAPITRE 2: la transformée de Hilbert :

**1- Définition :** soit une fonction  $g(t)$ , la transformée de Hilbert de  $g(t)$  est :

$$\hat{g}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{g(\tau)}{t - \tau} d\tau = g(t) * \frac{1}{\pi t}$$

- La transformée inverse :

$$g(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\hat{g}(\tau)}{t - \tau} d\tau = -\hat{g}(t) * \frac{1}{\pi t}$$

la transformée de Hilbert d'une fonction c'est tout simplement la convolution entre la fonction elle-même et  $1/\pi t$ ,

**le spectre :** ( $\Leftrightarrow$ ) Notation Transformée de Fourier

$$g(t) \Leftrightarrow G(f)$$

$$\hat{g}(t) \Leftrightarrow \hat{G}(f)$$

$$\hat{G}(f) = G(f) \cdot TF \left[ \frac{1}{\pi t} \right] = G(f) \cdot (-j) \cdot \text{sgn}(f)$$

$$\hat{G}(f) = -j \cdot \text{sgn}(f) \cdot G(f)$$

**2- interprétation physique de la transformée de Hilbert :**



$$|\hat{G}(f)| = |G(f)|$$

$$\text{Arg } \hat{G}(f) = \text{Arg } G(f) + \left(-\frac{\pi}{2}\right)$$

$$\begin{cases} \text{Arg } (-j) = -\pi/2 \\ \text{Arg } \text{sgn}(f) = 0 \end{cases}$$

- le transformée de Hilbert est un circuit qui m'intente le spectre (amplitude) et déphasé de  $-\pi/2$

- dans la réalité il est très difficile de réaliser un transformer de Hilbert mais pas impossible, plus la bande passante du signal et petite plus c'est faisable

**Applications :** - Modulation SSB

- Modulation ISB

### 3- Notion des prés-enveloppe d'une fonction:

$$\forall g(t)$$

$$g_+(t) = g(t) + j \hat{g}(t)$$

$$\text{Soient : } G(f) \Leftrightarrow g(t)$$

$$G_+(f) \Leftrightarrow g_+(t)$$

$$\hat{G}(f) \Leftrightarrow \hat{g}(t)$$

$$G_+(f) = G(f) + j [-j \operatorname{sgn}(f) \cdot G(f)]$$

$$= G(f)[1 + \operatorname{sgn}(f)]$$

$$G(f) \begin{cases} 2 & f > 0 \\ 1 & f = 0 \\ 0 & f < 0 \end{cases}$$

$$G_+(f) \begin{cases} 2 G(f) & f > 0 \\ G(0) & f = 0 \\ 0 & f < 0 \end{cases}$$

**Remarque :** qui dit  $2 G(f)$  = densité spectrale = surface = énergie

### 4- Enveloppe complexe d'une fonction

$$g_+(t) = \tilde{g}(t) \cdot e^{j2\pi f_c t}$$

Pré-enveloppe  $\tilde{g}(t)$  Enveloppe Complexe  $e^{j2\pi f_c t}$

$$G_+(f) = \tilde{G}(f - f_c)$$

Déphasage  $f - f_c$

**Remarque :** le spectre  $g_+(t)$  est le même spectre de  $\hat{g}(t)$  décalé

# CHAPITRE 3: Forme canonique d'un signal :

## 1- Définition de la forme canonique d'un signal :

Soit un signal  $g(t)$  ayant une bande passante limitée  $W$

$$g_+(t) = g(t) + j\hat{g}(t) \quad (\text{définition de la pré-enveloppe})$$

$$g_+(t) = \tilde{g}(t)e^{j2\pi f_c t} \quad \forall f_c \in \text{Bande passante} \\ (\text{définition de l'enveloppe complexe})$$

On peut écrire :

$$g(t) = \text{Réal} [g_+(t)] = \text{Réal} [\tilde{g}(t)e^{j2\pi f_c t}]$$

En général  $\tilde{g}(t)$  est une quantité complexe, donc on peut la mettre sous la forme :

$$\tilde{g}(t) = g_c(t) + jg_s(t)$$

$g_c(t)$  est appelé la composante en phase de la fonction  $g(t)$ , c'est un signal à bande passante limitée  $w$

$g_s(t)$  est appelé la composante en quadrature de phase de la fonction  $g(t)$ , sa bande passante est également limitée  $w$

par conséquent,  $\forall$  un signal  $g(t)$ , on peut toujours le mettre sous la forme suivante :

$$g(t) = g_c(t) \cos(2\pi f_c t) - g_s(t) \sin(2\pi f_c t)$$

Ceci est la forme canonique d'un signal  $g(t)$  ayant une bande passante  $w$  limitée.

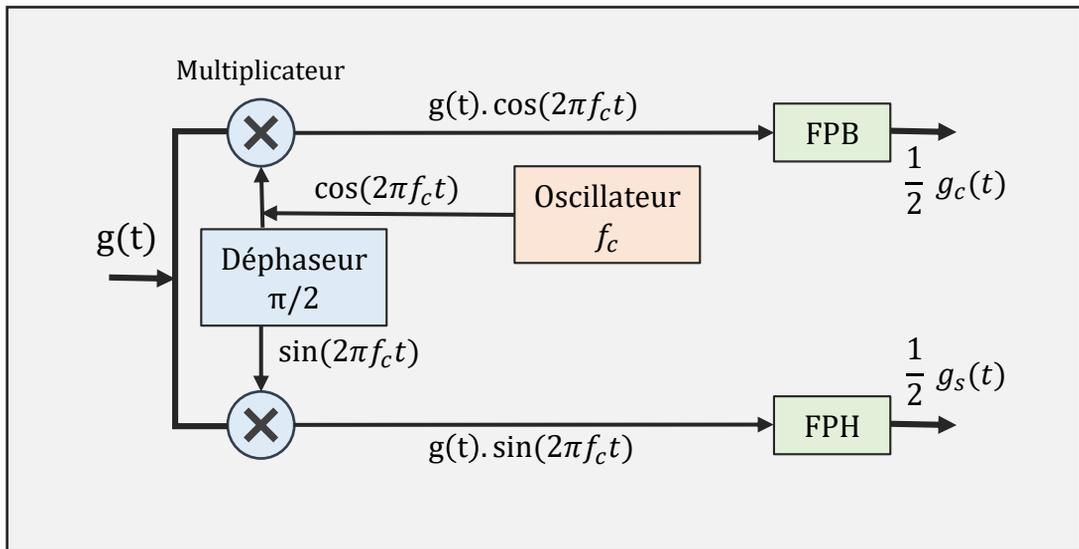
$g_c(t)$  et  $g_s(t)$  sont les composants en phase et en quadrature de phase simultanément par rapport à une fréquence  $f_c$  (porteuse).

La forme canonique c'est un concept très important, elle a été établie grâce à la notion de pré-enveloppe et de l'enveloppe complexe, elle est la base de toutes les techniques de modulation

## 2- Génération des composantes $g_c$ et $g_s$ :

Pour un signal  $g(t)$  donné, comment faire pour déterminer  $g_c(t)$  et  $g_s(t)$  ?

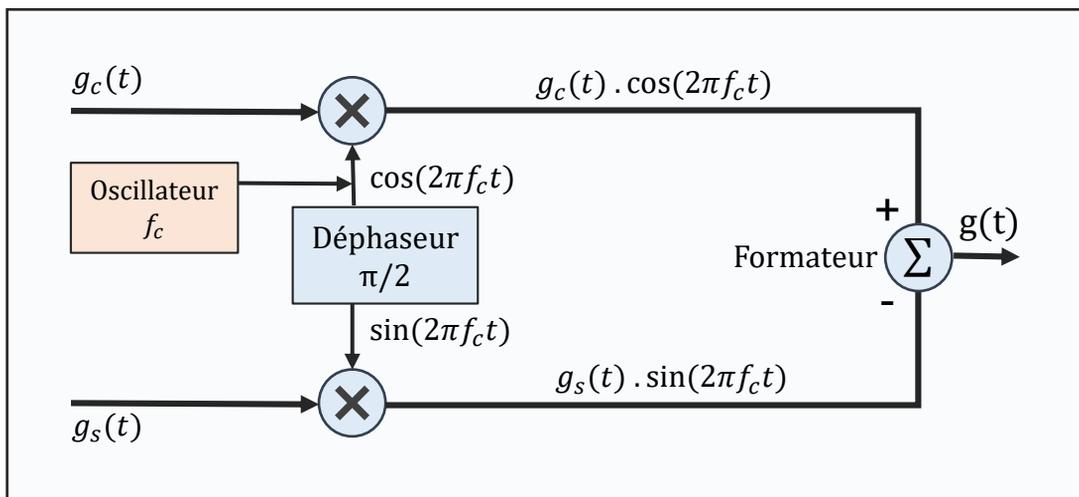
Il suffit d'implémenter la définition de la forme canonique



**Remarque :** la démonstration est donnée en série TD 3

## 3- Restitution du signal $g$ à partir des composantes $g_c$ et $g_s$ :

Dans ce cas également on implémente électroniquement la forme canonique :



## 4- Forme rectangulaire d'un signal $g(t)$ :

$$\text{Si } \tilde{g}(t) = g_c(t) + jg_s(t)$$

On peut aussi écrire :

$$\tilde{g}(t) = a(t)e^{j\varphi(t)} \quad \begin{array}{l} a(t) : \text{module} \\ \varphi(t) : \text{phase} \end{array}$$

$$\text{Avec : } a(t) = \sqrt{g_c^2(t) + g_s^2(t)} = |\tilde{g}(t)| = g_+(t)$$

$$\varphi(t) = \tan^{-1} \frac{g_s(t)}{g_c(t)}$$

$a(t)$  et  $\varphi(t)$  sont appelés respectivement l'enveloppe du signal  $g$  et la phase du signal.

Enfin on a la relation :

$$g(t) = \text{Réal} [\tilde{g}(t) e^{j2\pi f_c t}] = \text{Réal} [a(t) e^{j(2\pi f_c t + \varphi(t))}]$$

$$g(t) = a(t) \cos[2\pi f_c t + \varphi(t)]$$

cette expression est appelée forme angulaire du signal  $g(t)$

## 5- Exemples de la modulation analogique :

### 1) Modulation d'Amplitude (AM):

C'est la technique de modulation la plus simple et la plus économique (modulation et démodulation comprises)

Soit une porteuse de fréquence  $f_c$  représentée de la façon suivante:

$$c(t) = A_c \cos[2\pi f_c t]$$

Soit un message à transmettre  $m(t)$  à bande passante limitée  $W$ . Ce message peut être de différentes natures tel qu'il a été présenté dans le chapitre 1.

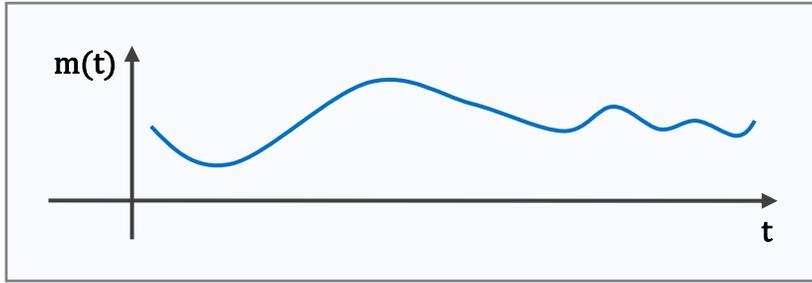
La condition de fonctionnement de la modulation AM impose que  $f_c \gg W$

Le signal modulé en AM se met sous la forme:

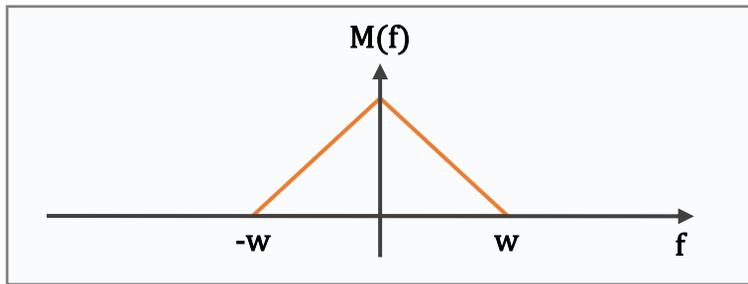
$$g(t) = A_c [1 + k m(t)] \cos(2\pi f_c t)$$

Rappelant que le temps de modulation  $k$  est le rapport entre le maximum de l'enveloppe moins le minimum de l'enveloppe divisé par le maximum de l'enveloppe plus le minimum de l'enveloppe.

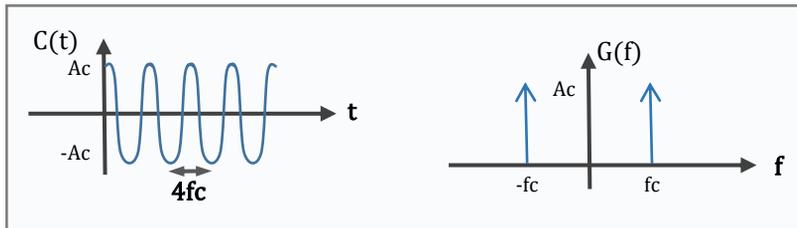
Dans le cas général  $m(t)$  est complexe dans sa forme, par exemple :



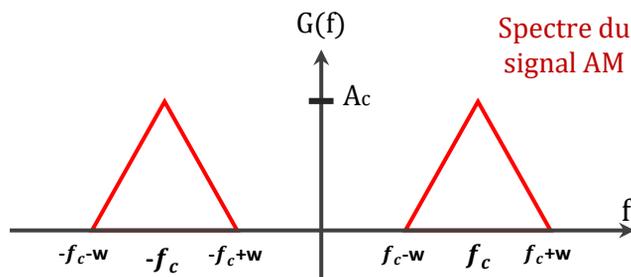
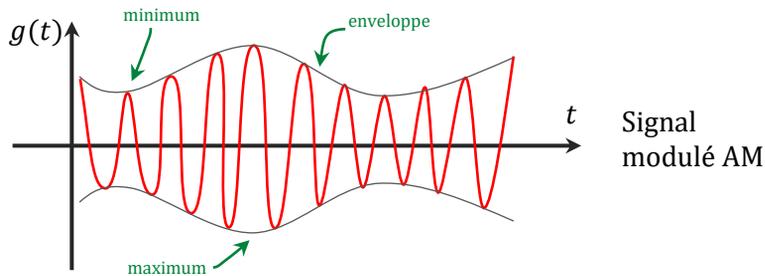
Son spectre :



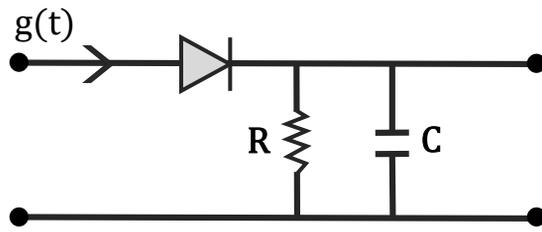
Soit également une porteuse  $C(t)$  :



Dans ce cas  $g(t)$  et son spectre seront :



La démodulation de  $g(t)$  se fait de la façon suivante

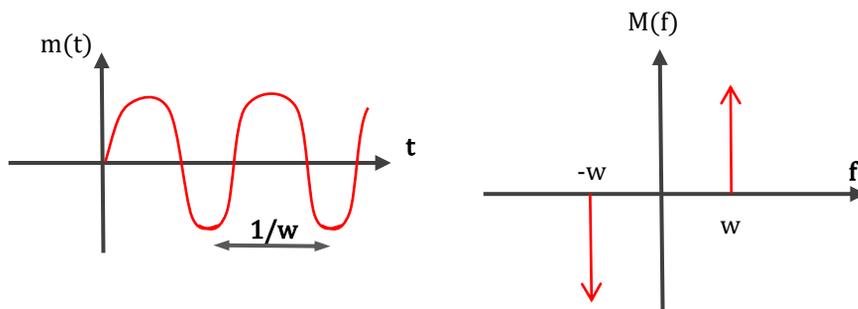


Signal demodulé  
(message  $m(t)$ )

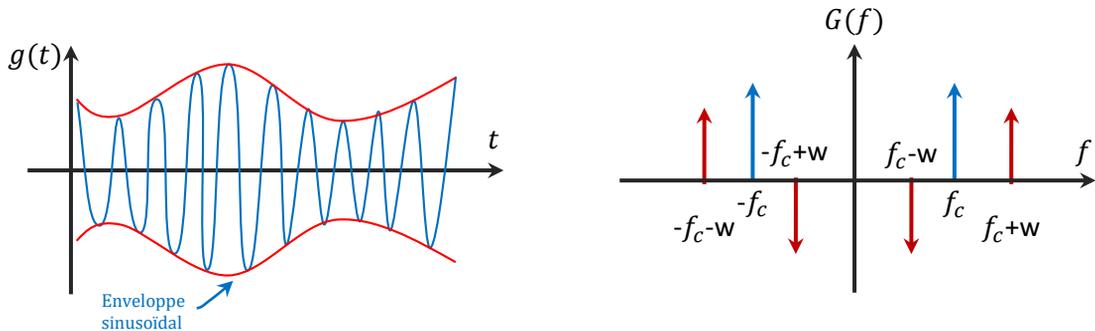
## 2) Autre exemple de la modulation analogique :

Pour donner d'autres exemples de la modulation qui proviennent de la modulation AM il est nécessaire de choisir un message  $m$  simple c'est-à-dire sinusoïdale dans ce cas :

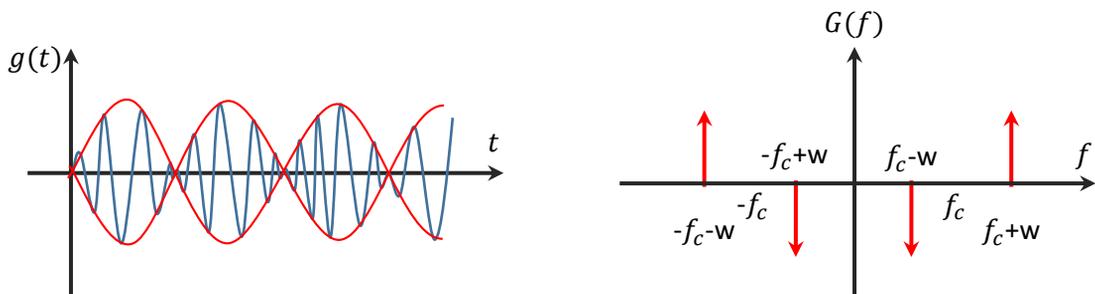
$m(t) = \sin(2\pi\omega t)$  On aura le message et son spectre:



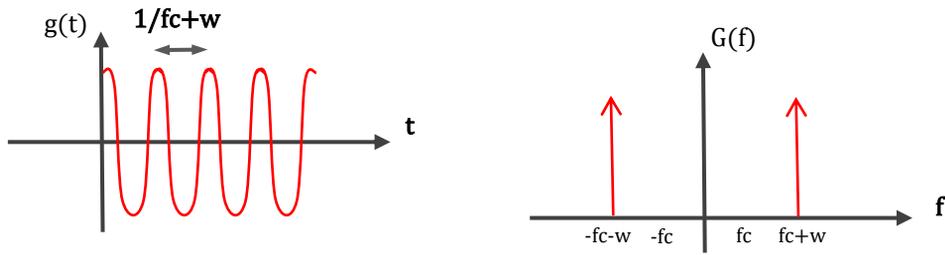
Dans ce cas  $g(t)$  qui est le signal modulé AM sera:



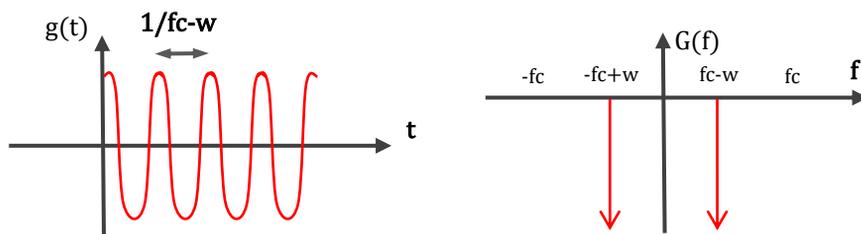
## 3) Exemple de la modulation double bande latérale à porteuse supprimer DBLPS:



#### 4) Exemple de la modulation SSB(+):



#### 5) Exemple de la modulation SSB(-):



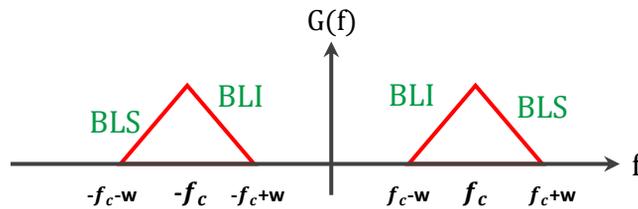
**Remarque:** toutes ces techniques de modulation seront traitées en détail dans les prochains chapitres.

# CHAPITRE 4: Modulation a deux bandes latérales à porteuse supprimer DBLPS:

## 1) Description de la technique :

Dans la modulation AM on a  $g(t)$  et son spectre  $G(f)$

$$g(t) = A_c [1 + k m(t)] \cos(2\pi f_c t)$$

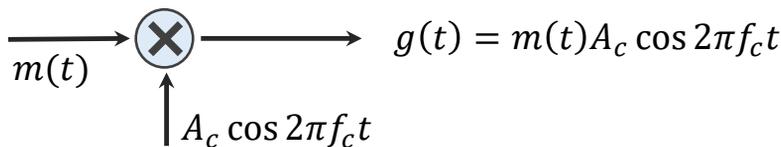


Un des grands inconvénients de la modulation AM, est qu'on transmet la porteuse  $f_c$  avec l'information, donc il y a perte d'énergie. L'information  $m(t)$  bénéficie que d'une partie de la puissance total transmise. Pour éviter cet inconvénient, on propose de supprimer la porteuse  $f_c$  à l'émission, à condition que a la réception il faut restituer d'une façon synchrone la porteuse pour pouvoir démoduler le signal  $g(t)$ , c'est le principe de la modulation DBLPS

Donc, dans ce type de modulation, on peut la mettre sous la forme :

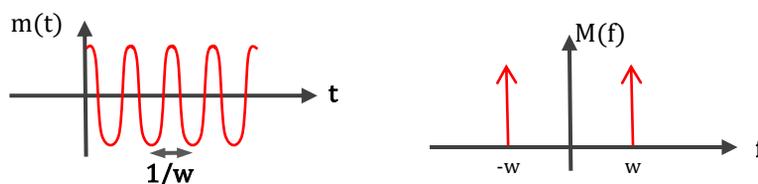
$$g(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t)$$

Le symbole électronique de cette modulation :

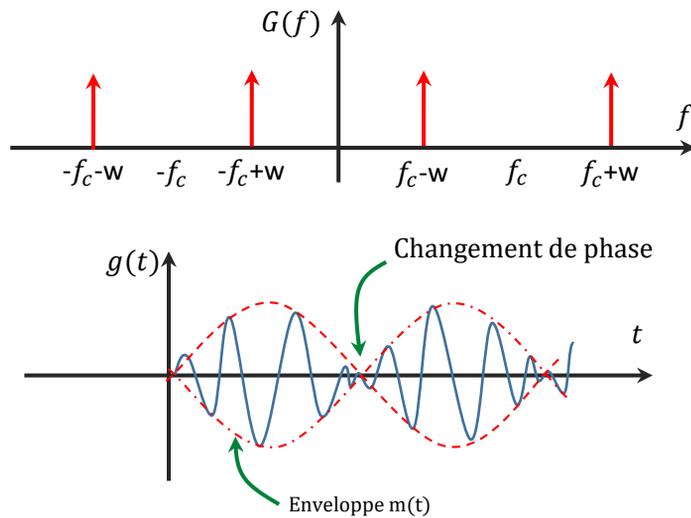


Ce type de symbole est appelé (mixer), parfois on l'appelle aussi un modulateur équilibré.

Exemple de modulation DBLPS. Cas ou  $m(t) = \cos(2\pi\omega t)$



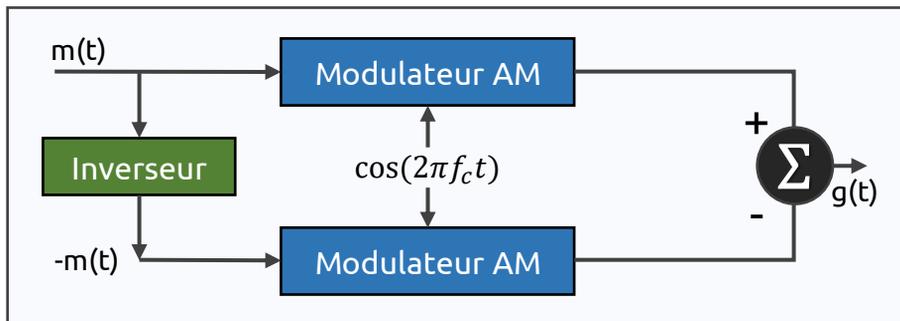
Le signal  $g(t)$  modulé en DBLPS sera :



**Remarque :** à chaque fois que l'enveloppe  $m(t)$  prend la valeur 0 la porteuse  $f_c$  change de phase.

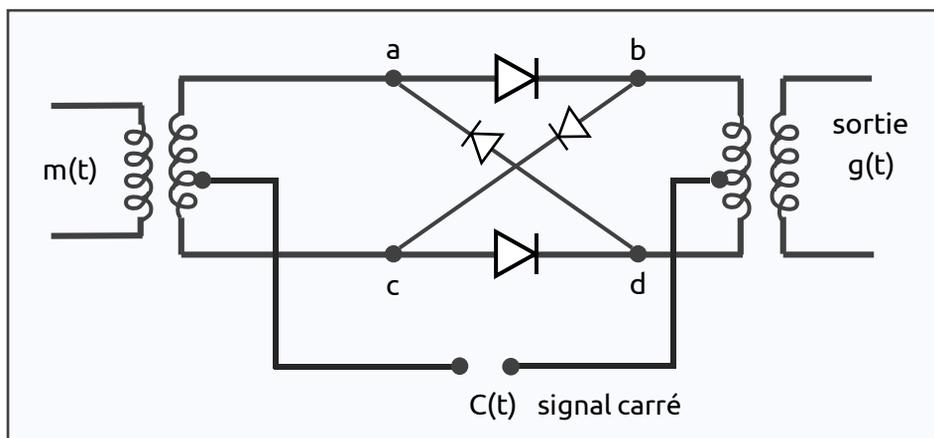
## 2) Modulateur DBLPS (génération de la DBLPS) :

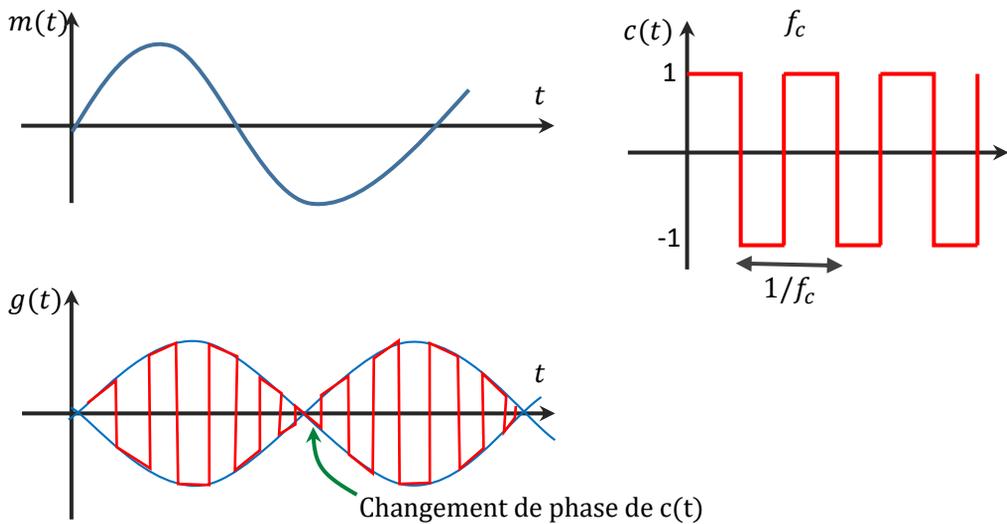
### a- Modulateur équilibré :



$$g(t) = m(t) \cos(2\pi f_c t)$$

### b- Modulateur en anneaux :





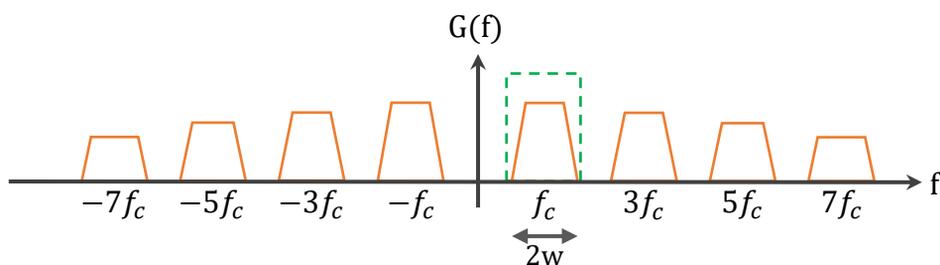
- Quand les diodes ab et cd sont passantes,  $c(t) = +1$ , donc  $g(t) = m(t) = m(t).c(t)$
- Quand les diodes ad et cb sont passantes,  $c(t) = -1$ , donc  $g(t) = -m(t) = m(t).c(t)$

**Décomposant le signal  $c(t)$  en série de Fourier :**

$$c(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{2n-1} \cos[2\pi f_c t (2n-1)]$$

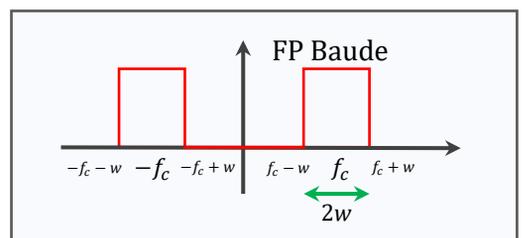
$$g(t) = m(t).c(t) = m(t). \frac{4}{\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{2n-1} \cos[2\pi f_c t (2n-1)]$$

Le spectre  $G(f)$  sera une série de convolution relative au porteuses  $f_c, 3f_c, 5f_c, 7f_c... etc$



pour que le signal de sortie  $g(t)$  soit un signal modulé en dbps il faut éliminer tous les harmoniques supérieur en utilisant un filtre passe-bande centrée sur  $f_c$

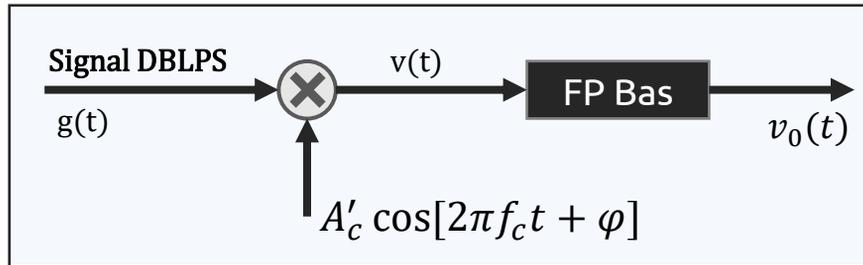
les conditions de fonctionnement du Spectre imposent que  $f_c > w$ , afin que le filtre passe-bande puisse filtrer dans les conditions idéales et aussi pour éviter les intermodulation et recouvrement :  $3f_c - w \gg f_c + w \ll \Rightarrow f_c > w$



### 3) Démodulation d'un signal DBLPS :

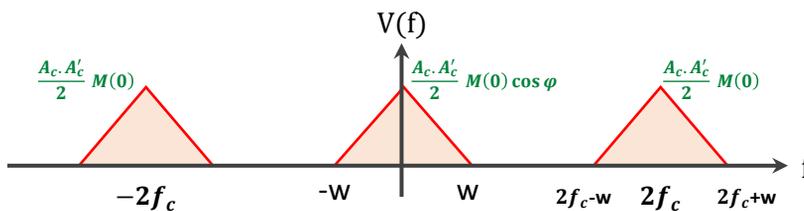
Cette technique s'appelle la détection synchrone, car il faut régénérer la porteuse  $f_c$  pour pouvoir récupérer le message  $m(t)$  à partir du signal  $g(t)$

Si  $g(t)$  ne contient pas la porteuse  $f_c$  il faut donc avoir à la réception le circuit de démodulation suivant :



$$v(t) = g(t) A_c' \cos[2\pi f_c t + \varphi] = A_c \cos(2\pi f_c t) m(t) A_c' \cos[2\pi f_c t + \varphi]$$

$$v(t) = \frac{A_c A_c'}{2} m(t) [\cos \varphi + \cos(4\pi f_c t + \varphi)]$$



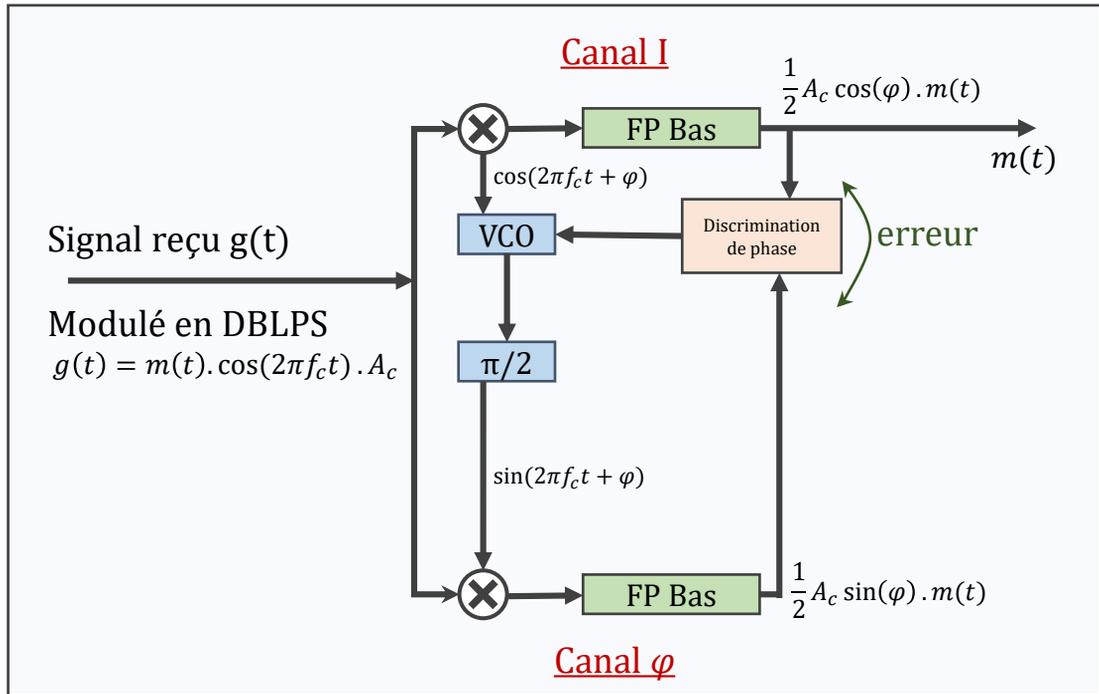
Après le filtre passe-bas  $\Rightarrow v_0(t) = \frac{A_c A_c'}{2} \cos \varphi m(t)$

Si le déphasage  $\varphi$  est constant dans le temps, alors  $m(t)$  est reproduit fidèlement sans distorsion.

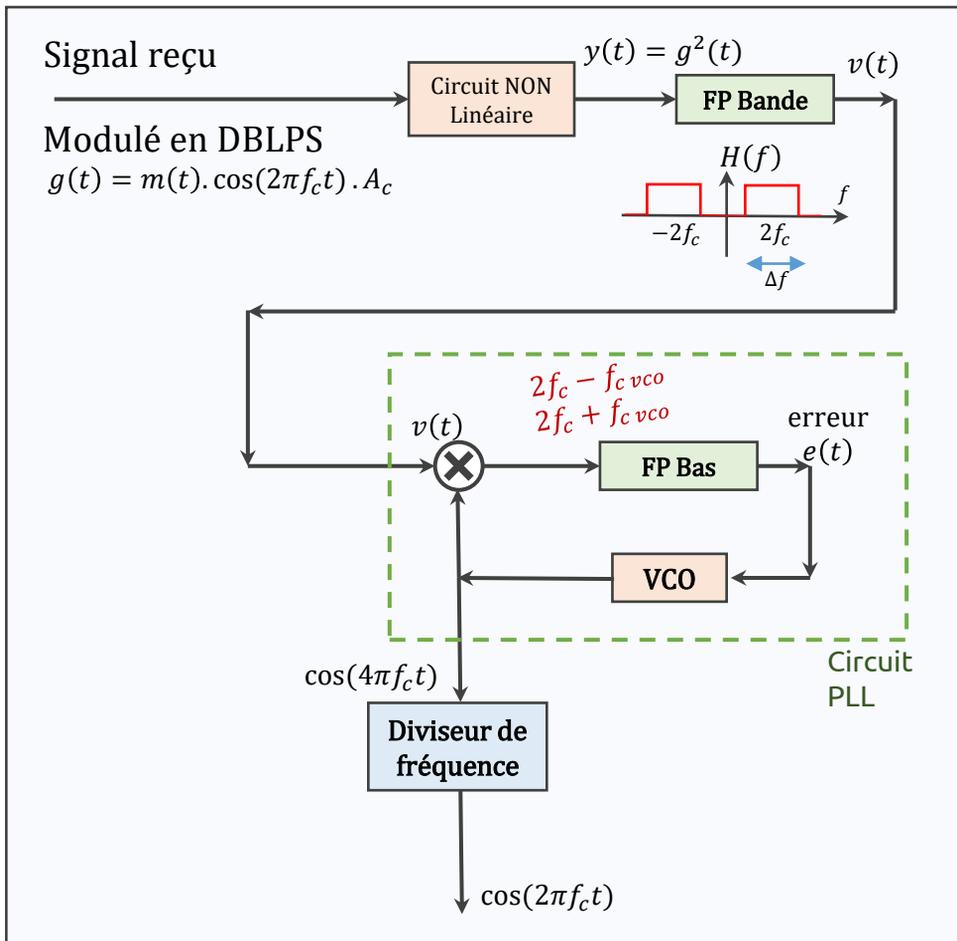
Si le déphasage  $\varphi$  varie (c'est le cas en pratique). La variation est aléatoire. Donc ceci entraîne des distorsions dans la reconstitution du message  $m(t)$ . Il faut donc prévoir un circuit complémentaire pour éviter toute distorsion de phase entre émetteur et récepteur. De cette façon on assure une détection parfaitement synchrone en fréquence et en phase. Pour cela il existe 2 techniques :

- récepteur COSTAS
- la boucle carré

## - Récepteur COSTAS :



## - Récepteur boucle carré (squaring loop) :



# CHAPITRE 5: La Modulation SSB - BLU

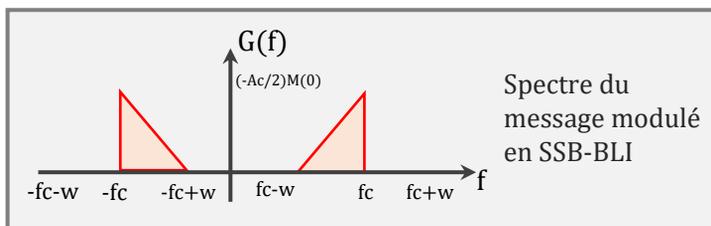
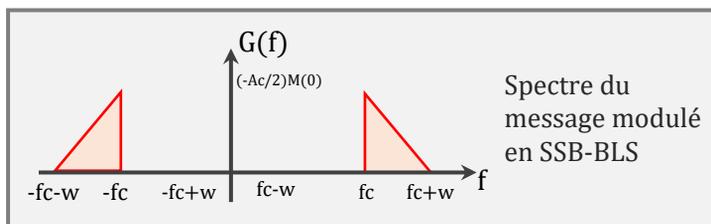
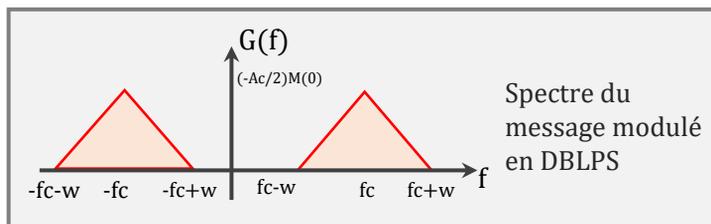
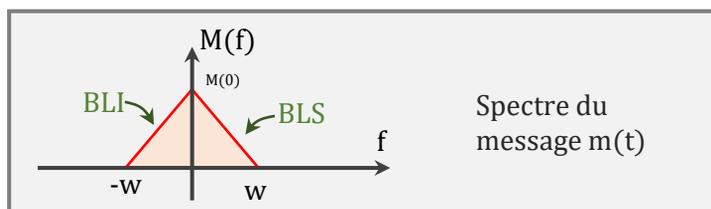
SSB : Single Side Band

BLU : Bande Latérale Unique

## 1) Description :

les modulations AM et DBLPS occupent les deux bandes latéral dans le spectre du signal. Donc il y a une perte dans la bande passante.

Les deux bandes latérales sont transmises en même temps et donc elle occupe 2 fois le même spectre. Il faut donc trouver une autre variante qui permet d'occuper un spectre de fréquences plus réduit c'est le principe de la modulation SSB. L'inconvénient, c'est une technique complexe donc coûteuse.



On représente l'expression d'un signal  $g(t)$  modulé en SSB en utilisant la forme canonique:

$$g(t) = g_c(t) \cos(2\pi f_c t) - g_s(t) \sin(2\pi f_c t)$$

On peut avoir  $g_c(t)$  et  $g_s(t)$  à partir de  $g(t)$ , voir chapitre précédent.

On peut également déterminer  $g_c(t)$  et  $g_s(t)$  autrement en utilisant le théorème suivant :

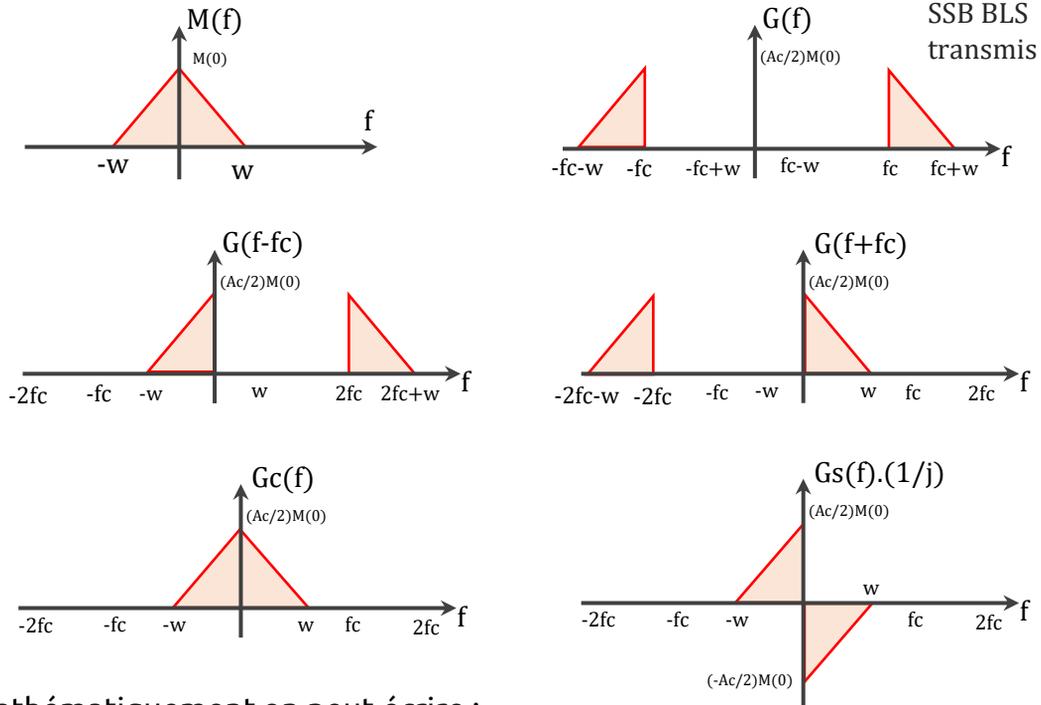
$$G_c(f) = \begin{cases} G(f - f_c) + G(f + f_c) & -\omega \leq f \leq \omega \\ 0 & \text{autrement} \end{cases}$$

$$G_s(f) = \begin{cases} j [G(f - f_c) + G(f + f_c)] & -\omega \leq f \leq \omega \\ 0 & \text{autrement} \end{cases}$$

$\omega$  étant la bande passante maximale du signal message  $m(t)$

Regardons le spectre d'un signal SBB (BLS transmise). Dans le cas d'une SBB (BLI transmise), le raisonnement est le même.

Appliquons le théorème précédent:



Donc mathématiquement on peut écrire :

$$G_c(f) = \frac{A_c}{2} M(f) \quad \Leftrightarrow \quad g_c(t) = \frac{A_c}{2} m(t)$$

$$\frac{1}{j} G_s(f) = \begin{cases} -\frac{A_c}{2} M(f) & f > 0 \\ 0 & f = 0 \\ \frac{A_c}{2} M(f) & f < 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow G_s(f) = -j \frac{A_c}{2} \operatorname{sgn}(f) \cdot M \quad \Leftrightarrow \quad g_s(t) = \frac{A_c}{2} \hat{m}(t)$$

donc on peut reprendre la définition de l'expression d'un signal modulé en SSB

$$g(t) = \frac{A_c}{2} m(t) \cos(2\pi f_c t) - \frac{A_c}{2} \hat{m}(t) \sin(2\pi f_c t)$$

Ceci est la représ de la forme canonique d'un signal modulé en SSB bande latéral supprimé.

Remarque: dans le cas d'un SSB - BLI transmis, le procédure et identique, on trouve:

$$g(t) = \frac{A_c}{2} m(t) \cos(2\pi f_c t) - \frac{A_c}{2} \hat{m}(t) \sin(2\pi f_c t)$$

## 2) Génération du signal modulé en SSB :

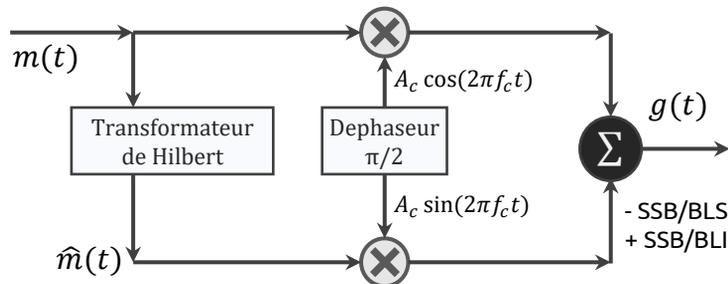
Ils existent deux méthodes :

- Méthode de discrimination en phase, c'est une méthode basée sur l'analyse en temps.
- Méthode de discrimination en fréquence, elle est basé sur une analyse en fréquence.

### a- Méthode de discrimination en phase :

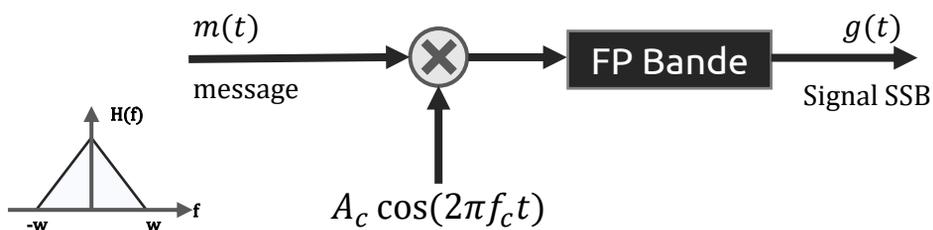
Cette méthode exploite l'expression de la forme canonique d'un signal SSB.

$$g(t) = \frac{A_c}{2} m(t) \cos(2\pi f_c t) - \frac{A_c}{2} \hat{m}(t) \sin(2\pi f_c t)$$

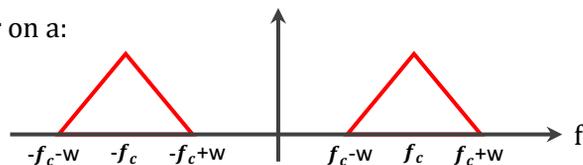


**Remarque:** ce type de modulateur SSB est connu sous le nom de modulateur HARTLEY, rappelant qu'en pratique il est très difficile de réaliser un transformateur de Hilbert, en particulier quand la bande passante  $w$  du message est large, ceci l'inconvénient de cette méthode. Par conséquent la SSB ne s'applique jamais aux signaux messages. Elle s'applique seulement au message audio.

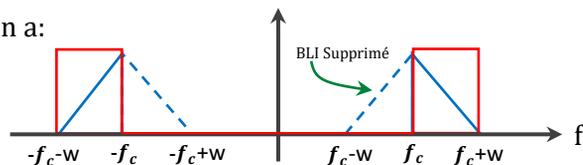
### a- Méthode de discrimination en fréquence :



Après le Mixer on a:

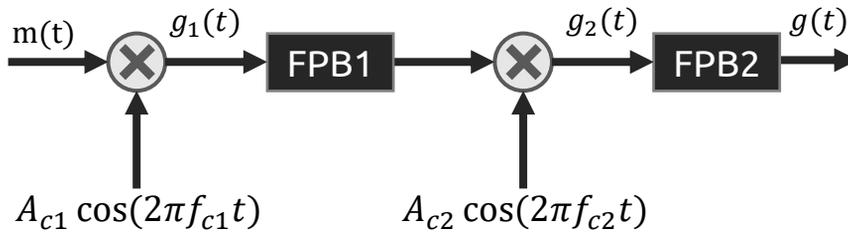


Après le FPB on a:

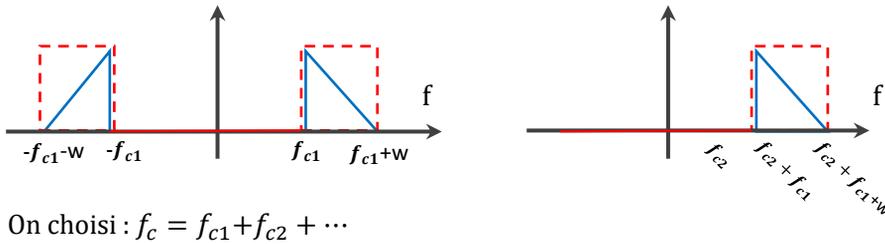


Dans cette méthode la conception du (FPB) doit assurer une réponse très sélectif, elle doit tombé a raide par rapport à  $f_c$ . Ceci est réalisable dans le cas ou la porteuse  $f_c$  n'est pas très grande.

Dans le cas contraire,  $f_c$  grande, il est très difficile de réaliser le FPB pour cela on utilise le procédé suivant :

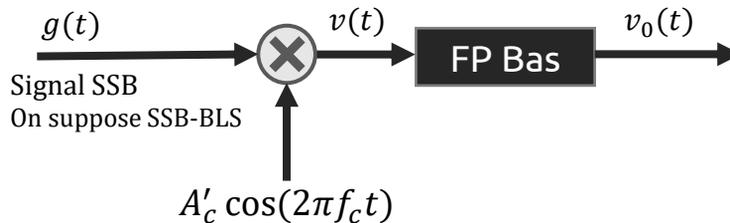


même si  $f_c$  est grande en applique la procédure sur plusieurs étapes :



### 3) Démodulation du signal SSB :

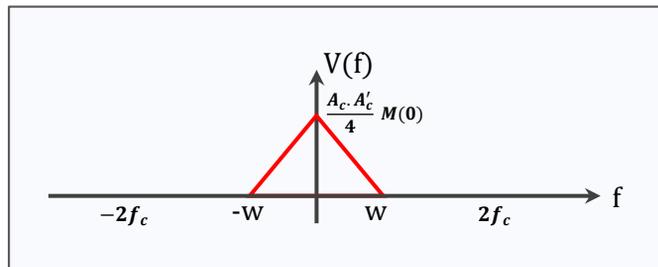
Vu que la porte FB est absente donc on a une détection synchrone



L'oscillateur a la réception est supposé être en parfaite synchronisation avec l'émetteur (COSTAS + Boucle Carrée)

$$v(t) = A'_c \cos(2\pi f_c t) \cdot g(t) = \frac{A_c A'_c}{2} \cos(2\pi f_c t) \cdot [m(t) \cos(2\pi f_c t) - \hat{m}(t) \sin(2\pi f_c t)]$$

$$v(t) = \frac{A_c A'_c}{4} m(t) + \frac{A_c A'_c}{4} [m(t) \cos(4\pi f_c t) - \hat{m}(t) \sin(4\pi f_c t)]$$



Après le FP Bas on aura:  $v_0(t) \cong m(t)$   
donc on récupère le message. D'où la démodulation.

## 4) Modulation ISB – BLI :

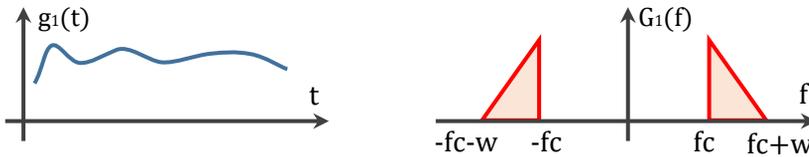
ISB : Independant Side Band.

BLI : Bande Latérale Indépendante.

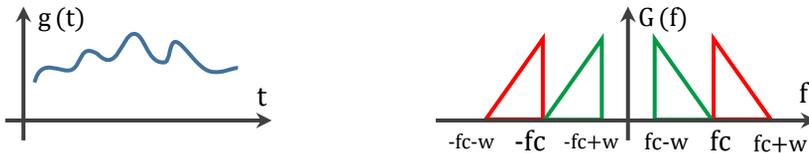
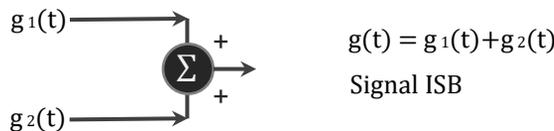
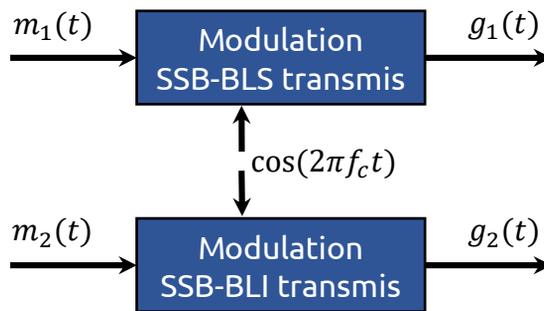
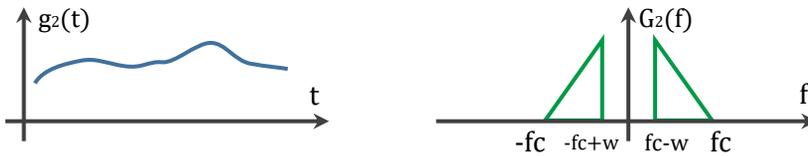
C'est une technique qui nécessite deux message  $m_1(t)$  et  $m_2(t)$ .



Appliquons la SSB-BLS transmis au message  $m_1(t)$  :



Appliquons la SSB-BLI transmis au message  $m_2(t)$  :



On utilise la même porteuse  $f_c$ . Deux messages  $m_1(t)$  et  $m_2(t)$  ayant même bande de passante  $w$ . Le signal  $g(t)$  modulé en ISB est un superposition de deux modulations SSB-BLS et SSB-BLI.

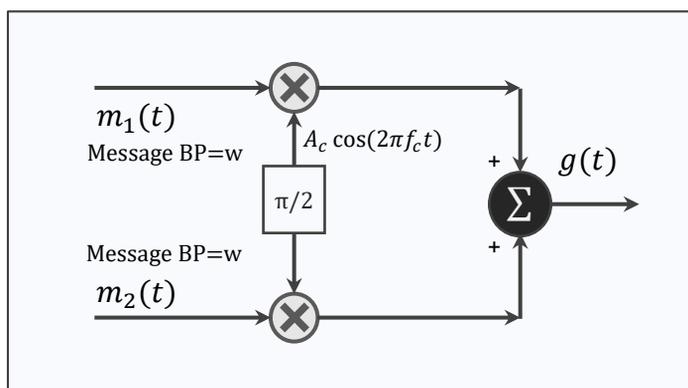
Ceci est le principe de la Stéréo AM.

# CHAPITRE 6: LA Modulation QAM:

## 1) Introduction :

C'est une technique de modulation qui nécessite 2 modulation DBLPS mais ayant la même porteuse  $f_c$ . Elle exige aussi 2 messages  $m_1(t)$  et  $m_2(t)$  ayant chacune la bande passante  $w$ . Cette astuce consiste à envoyer 2 messages différents  $m_1(t)$  et  $m_2(t)$  avec la même porteuse  $f_c$ . Donc elle offre un énorme gain économique et spectral. Autrement il aurait nécessité deux modulateurs distincts, ce qui aurait entraîné un prix élevé. Un signal modulé en QAM est un signal multiplexé dans le temps.

## 2) Modulateur QAM :



$g(t)$  est un signal modulé en QAM, c'est aussi un signal multiplexé

$$g(t) = A_c m_1(t) \cos(2\pi f_c t) + A_c m_2(t) \sin(2\pi f_c t)$$

on remarque que d'après la forme canonique, on transmet 2 signaux en DBLPS la même fréquence porteuse  $f_c$ , mais déphasé de  $\pi/2$  ( ceci est le multiplexage ).

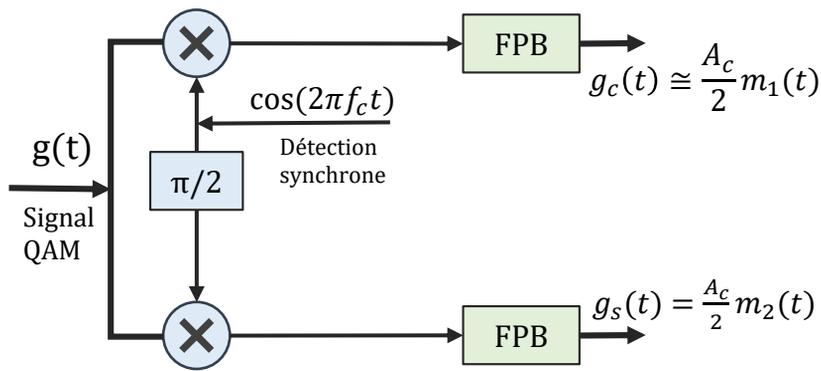
## 3) Démodulation de la QAM :

Le signal  $g(t)$  modulé en QAM est appliqué simultanément à deux détecteurs synchrones. L'expression de la forme canonique précédente nous rappelle que :

$$A_c m_1(t) = \text{Composante en phase } g_c(t)$$

$$A_c m_2(t) = \text{Composante en quadrature } g_s(t)$$

Donc la détection sera :



#### 4) Application pratique de la QAM :

C'est une technique utilisée dans le codage/décodage des images couleur en tv

$$m_1(t) = R - y$$

$$m_2(t) = B - y$$

La synchronisation entre émetteur et récepteur se fait à l'aide des signaux appelé BURST.

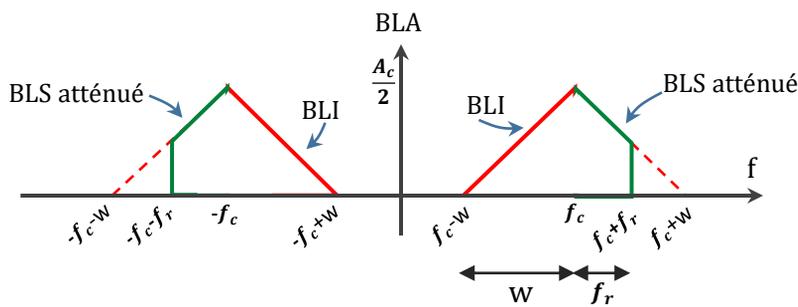
**NB:** et fais attention. Cette technique QAM analogique à ne pas confondre avec QAM numérique

# CHAPITRE 7: LA Modulation BLA (Bande latérale atténué) – VSB (Vestigial Side Band) :

## 1) Description :

La technique de modulation SSB est utilisé dans le cas des signaux basse fréquence. Cependant, dans le cas des transmissions de signaux messages contenant des harmoniques haute fréquence (cas des signaux vidéo), le SSB n'est plus utilisé à cause des difficultés due à la réalisation technique dans la génération et la détection. Pour cela, il existe un compromis entre la SSB et le modulateur DBLPS. C'est le principe de la modulation BLA.

L'idée de la modulation BLA est de conserver une bande latérale intacte et de réduire l'autre bande latérale.



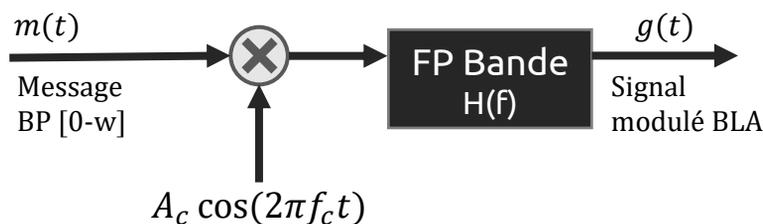
La BLI est intégralement conservé, tandis que la BLS est atténué a la fréquence  $f_r$  .  
La bande passante du signal modulé en BLA est  $\omega + f_r$  .

Pour l'analyse mathématique de la BLA, la génération et la detection; ils existent deux methodes :

- Etude spectrale.
- Etude basé sur la forme canonique.

## 2) Etude Spectrale : Modulateur et le démodulateur de la BLA.

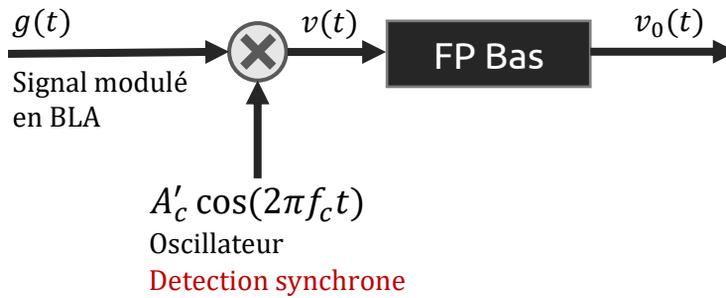
La génération d'un signal BLA dans le domaine spectrale, se fait de la façon suivante :



Analytiquement on aura :

$$G(f) = \frac{A_c}{2} [M(f - f_c) + M(f + f_c)] \cdot H(f)$$

Il reste donc à déterminer l'allure de la réponse  $H(f)$  du filtre passe-bande. Car jusqu'à présent  $H(f)$  est inconnu. Par cela, on proposera une détection synchrone suivante qui fera le travail inverse de la génération précédente.



$$v(t) = A'_c \cos(2\pi f_c t) \cdot g(t) \quad \rightarrow \quad V(f) = \frac{A'_c}{2} \cdot [G(f - f_c) + G(f + f_c)]$$

Connaissant  $G(f)$  et d'après l'équation précédente dans la génération du signal BLA, on a :

$$V(f) = \frac{A'_c}{4} A_c \left\{ M(f) [H(f - f_c) + H(f + f_c)] + \frac{[M(f - 2f_c) \cdot H(f - f_c)]}{+M(f + 2f_c) \cdot H(f + f_c)} \right\}$$

Après la FP Bas, au niveau de la détection, on aura le signal  $v_0(t)$  don't le spectre sera :

$$V_0(f) = \frac{A_c A'_c}{4} \cdot M(f) \cdot [H(f - f_c) + H(f + f_c)]$$

Si on veut générer le signal  $g(t)$  modulé en BLA et reproduire (démodulé) l'information  $m(t)$  a la détection, sans distorsion, alors il faut que :

$$v_0(t) = m(t) \quad \rightarrow \quad V(f) = M(f) \text{ a une constant prés.}$$

Pour cela une condition sur le filtre passe bande  $H(f)$  est imposé :

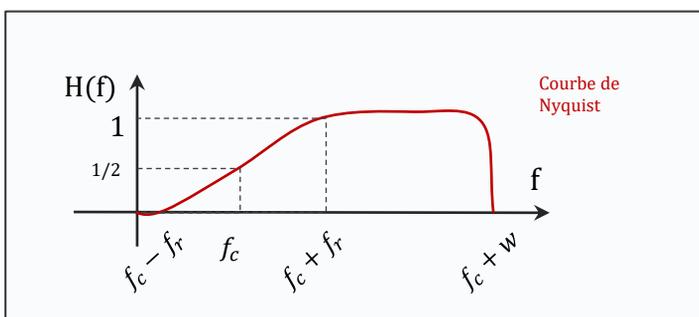
$$(H(f + f_c) + H(f - f_c)) = \text{Constante} = 2H(f_c)$$

Cette condition doit être vérifié dans le domaine  $|f| < \omega$  car dans  $|f| > \omega$ ,  $M(f)$  est zéro.

En pratique (cas de la tv) la constante  $H(f_c)$  est choisi égale à  $\frac{1}{2}$

$$\rightarrow H(f - f_c) + H(f + f_c) = 1$$

Dans ce cas pratique la réponse  $H(f)$  sera proposé de la façon suivante.



Remarque : la réponse en phase du filtre  $H(f)$ , elle doit être linéaire dans la bande passante considéré à éviter toute distorsion de phase.

### 3) Etude Temporelle : Modulation BLA.

Afin de pouvoir écrire la représentation d'un signal BLA dans le domaine temps, on utilise la forme canonique du signal  $g(t)$  qui se met sous la forme suivante :

$$g(t) = \frac{A_c}{2} [g_c(t) \cos(2\pi f_c t) - g_s(t) \sin(2\pi f_c t)]$$

- BLA / BL Supérieur atténué
- BLI / BL Inferieur atténué

Dans cette forme canonique, il reste à déterminer  $g_c(t)$  et  $g_s(t)$  .

En utilisant les relations vues dans les paragraphes précédents concernant le spectre  $G(f)$  du signal à la sortie de mixer :

$$G_c(f) = G(f - f_c) + G(f + f_c) \quad |f| \leq \omega ; 0 \text{ Ailleurs.}$$

$$G_s(f) = j[G(f - f_c) - G(f + f_c)] \quad |f| \leq \omega ; 0 \text{ Ailleurs.}$$

En remplaçant  $G(f) = \frac{A_c}{2} [M(f - f_c) + M(f + f_c)]. H(f)$  ; Spectre du signal BLA

On trouve :

$$G_c(f) = \frac{A_c}{2} M(f). [H(f - f_c) + H(f + f_c)] \Rightarrow G_c(f) = \frac{A_c}{2} M(f)$$

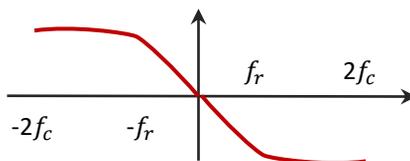
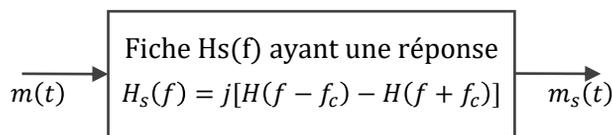
$$\Rightarrow g_c(t) = \frac{A_c}{2} m(t)$$

De même :

$$G_s(f) = j \frac{A_c}{2} M(f). [H(f - f_c) - H(f + f_c)]$$

$$\Rightarrow g_s(t) = \frac{A_c}{2} m_s(t)$$

Avec :

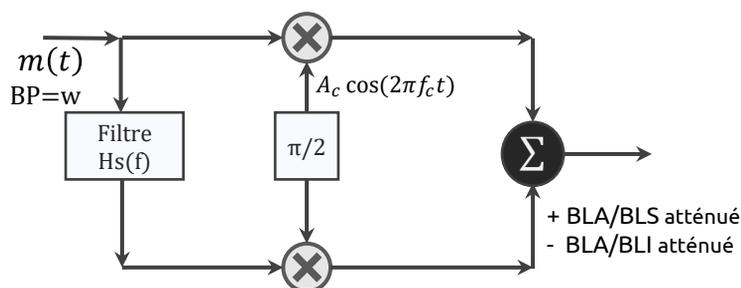


**Remarque :** il ne faut pas confondre  $H(f)$  (qui intervient dans l'analyse spectral) avec  $H_s(f)$  (qui intervient dans l'analyse temporelle).

Dans ce cas, la forme canonique devient :

$$g(t) = \frac{A_c}{2} m(t) \cos(2\pi f_c t) \pm \frac{A_c}{2} m_s(t) \sin(2\pi f_c t)$$

A partir de cette équation, on peut proposer le schéma d'une modulation BLA :



#### 4) Comparaison entre les différents types de modulation :

Type de modulation	$g_c(t)$	$g_s(t)$	Remarque
DBLPS	$m(t)$	0	$m(t)$ : Information BP = W
AM	$1 + k \cdot m(t)$	0	k : taux de modulation
SSB – BLS transmit	$\frac{m(t)}{2}$	$\frac{\hat{m}(t)}{2}$	$\hat{m}(t)$ : trans de Hilbert
SSB – BLI transmit	$\frac{1}{2} m(t)$	$-\frac{1}{2} \hat{m}(t)$	$\hat{m}(t)$ : trans de Hilbert
BLA – BLS atténué	$\frac{1}{2} m(t)$	$\frac{1}{2} m_s(t)$	$m_s(t)$ : Repr en temps du $H_s(f)$
BLA – BLI atténué	$\frac{1}{2} m(t)$	$-\frac{1}{2} m_s(t)$	$m_s(t)$ : Repr en temps du $H_s(f)$