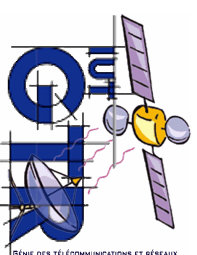


Les Modulations des signaux analogiques

Françoise Briolle



Centre de Physique Théorique – CNRS, Marseille
IUT R&T – Université de la Méditerranée



2005-06

© Françoise Briolle Mars 2006

Les signaux analogiques

- Les signaux analogiques sont analogues à une grandeur physique : tension, courant, pression, intensité lumineuse, ...
- Ils sont continus dans le temps et peuvent prendre une infinité de valeurs.
- Le but de la modulation est de transmettre ces signaux à grande distance : on va donc transformer le signal pour l'adapter au canal de transmission (air, câble, ...)

© Françoise Briolle Mars 2006

Les Modulations

➤ Le signal $m(t)$ que l'on veut transmettre est généralement basse fréquence : voix, images, données

➤ On utilise une porteuse $p(t)$ de fréquence élevée F_0

$$p(t) = A \sin (2\pi F_0 t + \phi)$$

➤ On module le signal $m(t)$ par la porteuse $p(t)$ pour obtenir le signal modulé $s(t)$

➤ $s(t)$ est la porteuse modulée en amplitude, en fréquence ou en phase

Les Modulations

$$p(t) = A \sin (2\pi F_0 t + \phi)$$

➤ Modulation linéaire ou modulation d'amplitude :

- ✓ Double Bande sans Porteuse (DBSP)
- ✓ Double Bande avec Porteuse (DBaP)
- ✓ Bande Latérale Unique (BLU)

➤ Modulation non linéaire :

- ✓ Modulation de Fréquence (FM)
- ✓ Modulation de Phase (PM)

Les Démodulations

La démodulation permet de retrouver le signal original $m(t)$ à partir du signal $s(t)$

- Démodulation d'amplitude
 - ✓ Démodulation d'enveloppe
 - ✓ Démodulation synchrone
- Démodulation de fréquence

© Françoise Briolle Mars 2006

La Modulation d'Amplitude

- La modulation AM est utilisée pour les transmissions radio
 - ✓ Ondes Courtes : 11m à 60m
 - ✓ se propagent très loin – Radio France International
 - ✓ Ondes Moyennes : 200m 600m
 - ✓ exemple
 - ✓ Ondes Longues : ~1 500m
 - ✓ exemple : Radio Luxembourg : 1,7 km,

© Françoise Briolle Mars 2006

Modulation Double Bande sans Porteuse

DBSP

Modulation Double Bande sans Porteuse

DBSP

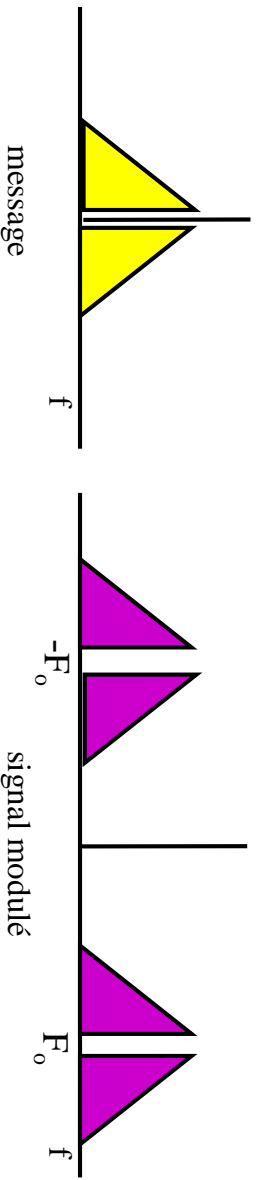
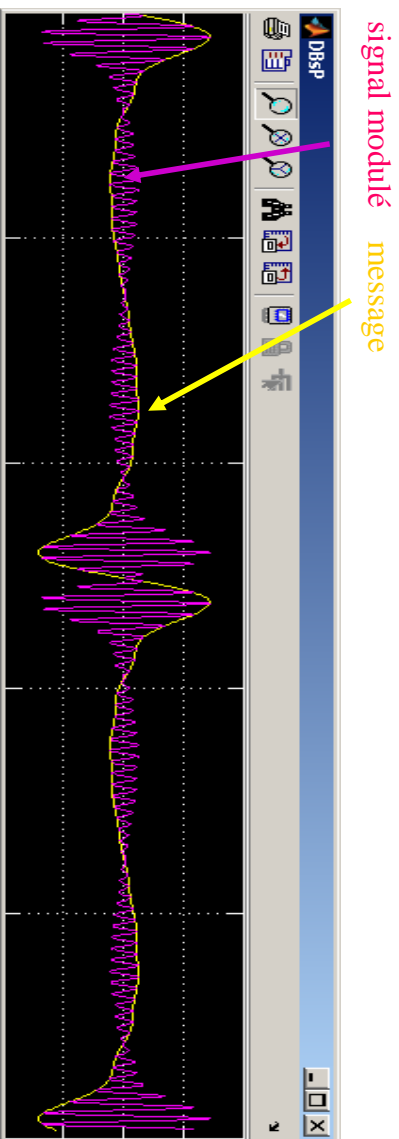
- ✓ $m(t)$ contient le message
- ✓ $p(t)$ la porteuse, de fréquence F_0
$$p(t) = A \sin(2\pi F_0 t)$$

- ✓ $s(t)$ le signal modulé contient le message
son spectre sera autour de F_0 et $-F_0$

$$s(t) = [A m(t)] \sin(2\pi F_0 t)$$

Modulation Double Bande sans Porteuse

DBSP



© Françoise Brolle Mars 2006

Modulation Double Bande sans Porteuse

➤ Calcul pour un signal sinusoïdal

✓ $m(t)$ est un signal sinusoïdal

$$m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t + \phi_m)$$

✓ $p(t)$ la porteuse

$$p(t) = A \cos(2\pi F_0 t)$$

✓ $s(t)$ le signal modulé

$$s(t) = [A m(t)] \cos(2\pi F_0 t)$$

$$s(t) = \frac{A A_m}{2} [\cos(2\pi(F_0 - f_m) + \phi_m) + \cos(2\pi(F_0 + f_m) + \phi_m)]$$

le spectre du message est translaté autour la fréquence F_0

© Françoise Brolle Mars 2006

Modulation Double Bande sans Porteuse

- Bilan Énergétique

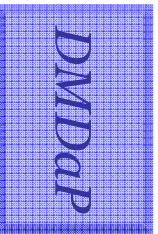
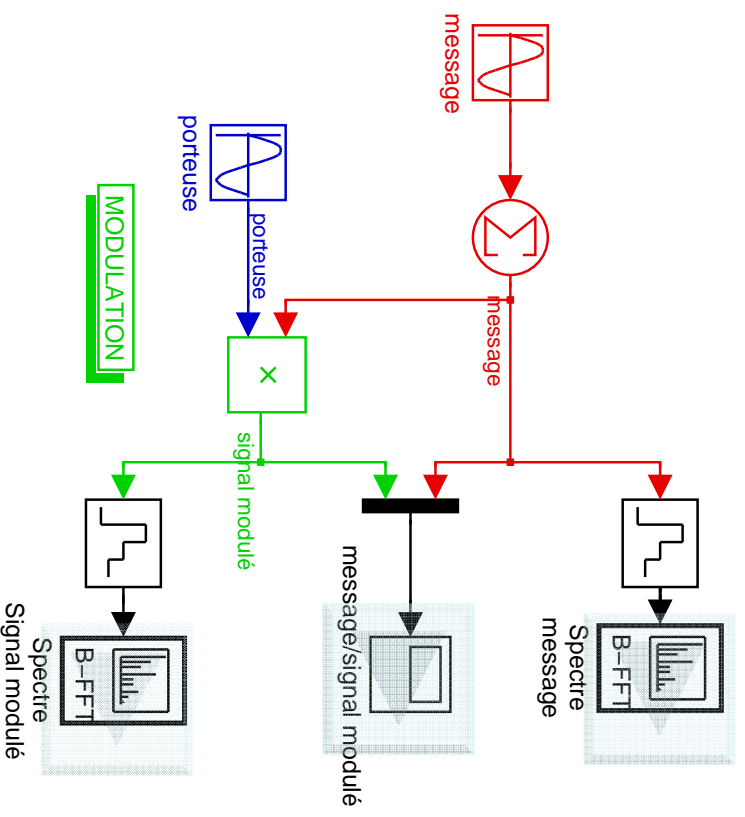
$$s(t) = p(t) m(t)$$

La puissance du signal modulé est égale à la puissance du message transmis :

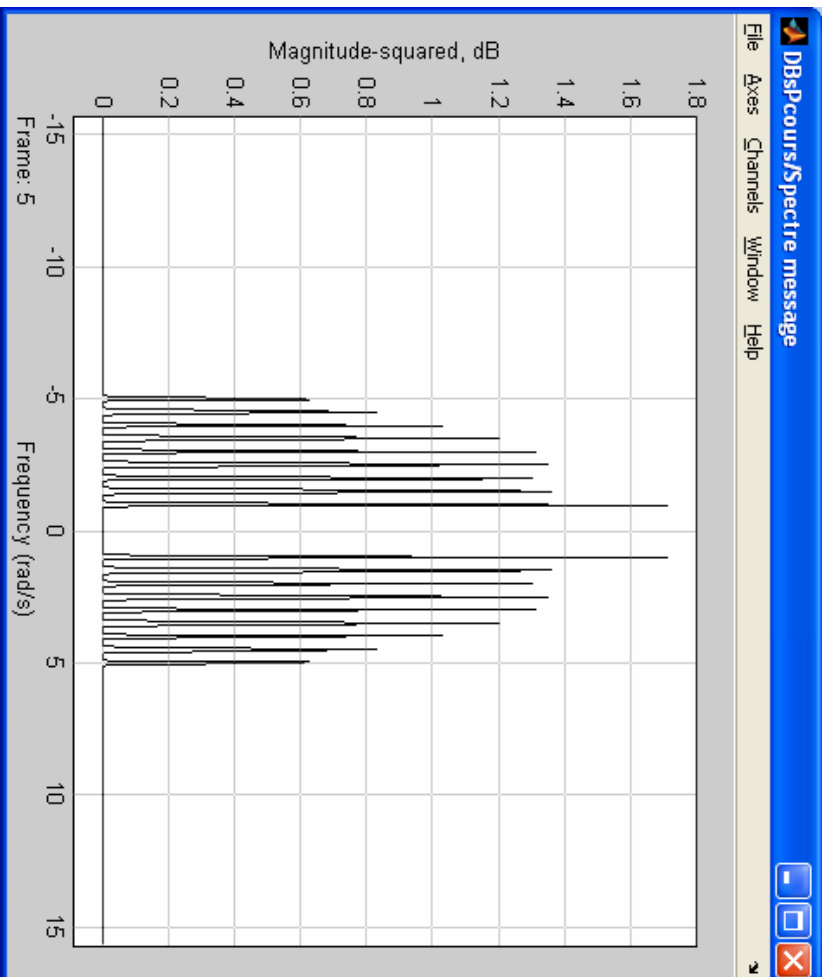
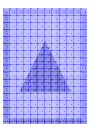
$$P_T = P_{USB} + P_{LSB}$$

Modulation Double Bande sans Porteuse

- ✓ Principe de modulation

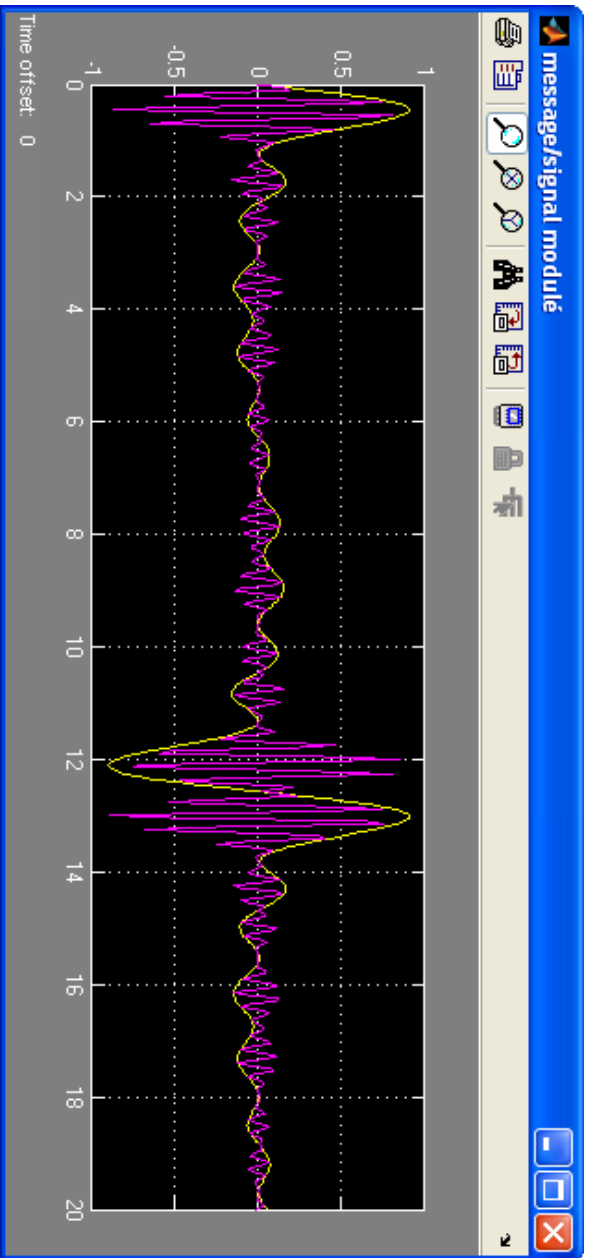
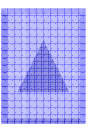


Modulation Double Bande sans Porteuse

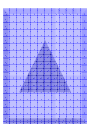


© Françoise Broille Mars 2006

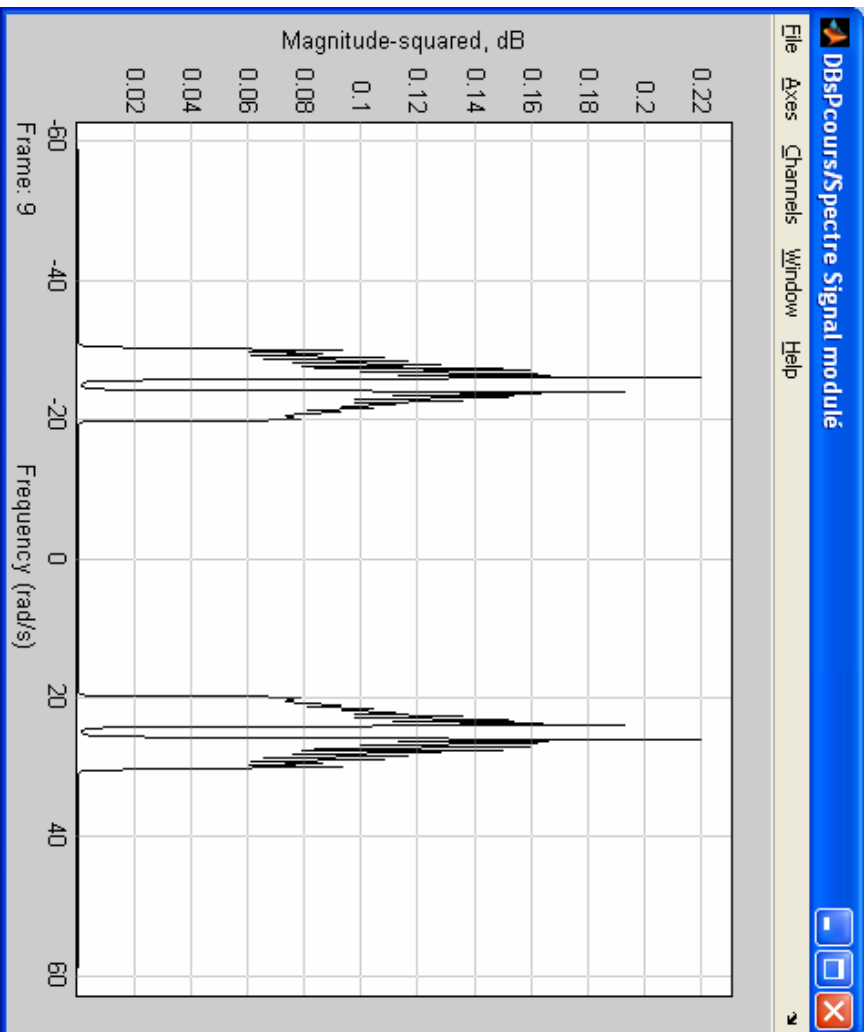
Modulation Double Bande sans Porteuse



© Françoise Broille Mars 2006



Modulation Double Bande sans Porteuse



© Françoise Broille Mars 2006

Démodulation Double Bande sans Porteuse

➤ Démodulation synchrone :

✓ Il suffit de multiplier le signal modulé par une sinusoïde identique à la porteuse (même fréquence, même phase) et de filtrer passe-bas

$m(t)$: message

$p(t)$: porteuse

$s(t)$: signal modulé

✓ Signal démodulé :

$$s_d(t) = \text{Filtre}_{PB}\{s(t) p(t)\}$$

$$s_d(t) \sim m(t)$$

© Françoise Broille Mars 2006

Démodulation Double Bande sans Porteuse

➤ Le calcul :

✓ Le message : $m(t)$

✓ Le signal modulé $s(t) = m(t) p(t)$

✓ signal modulé multiplié par la porteuse

$$s_d(t) = s(t) p(t)$$

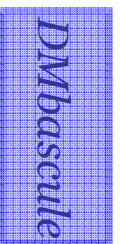
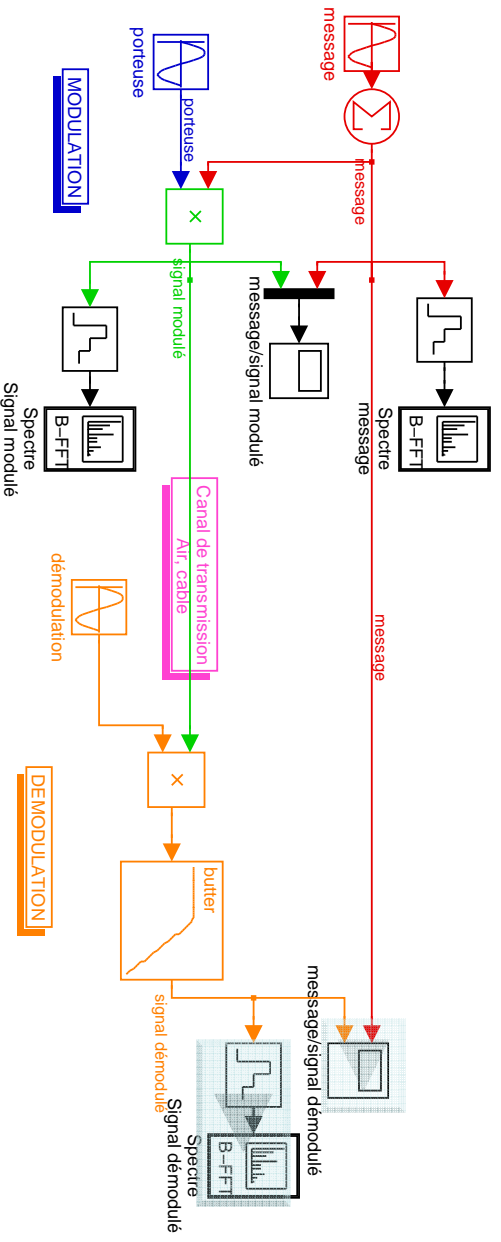
$$s_d(t) = [m(t) A \cos(2\pi F_0 t)] A \cos(2\pi F_0 t)$$

$$s_d(t) = \frac{A^2}{2} [m(t) + m(t) \cos(2\pi (2F_0) t)]$$

✓ filtré passe-bas

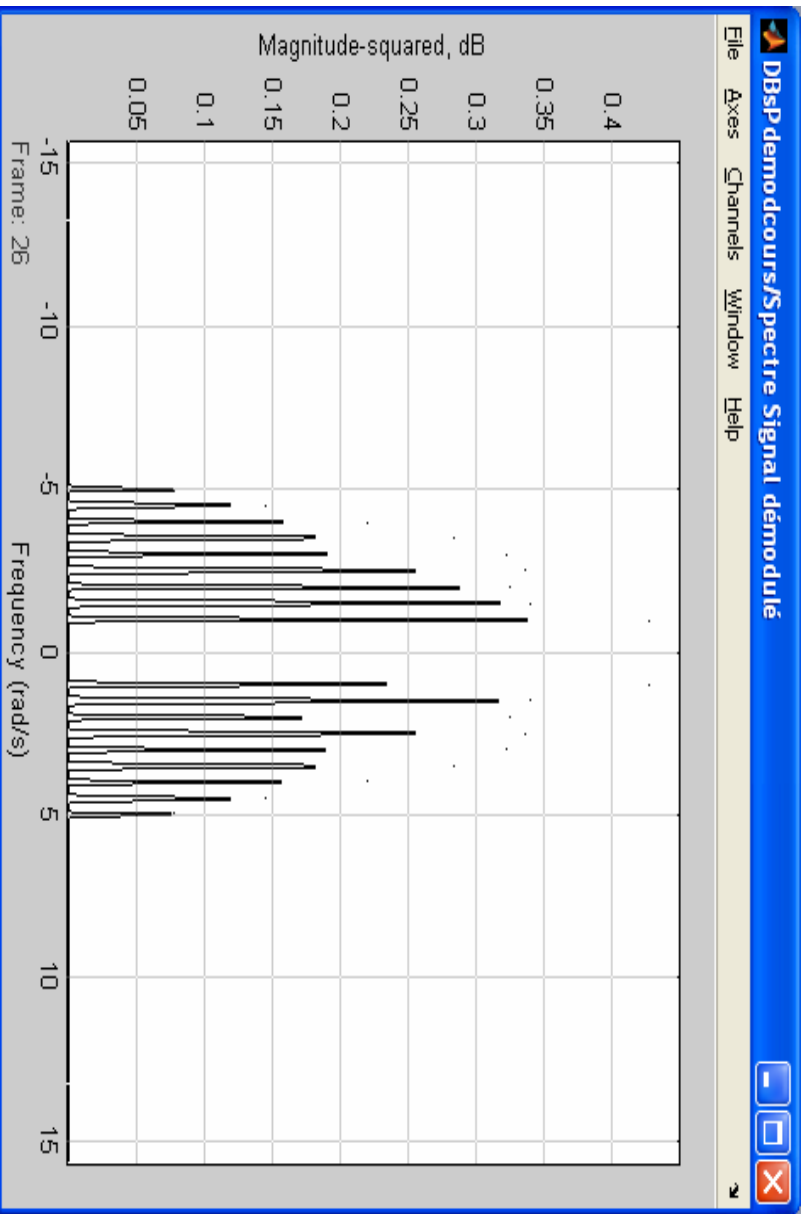
$$s_d(t) \sim m(t)$$

Démodulation Double Bande sans Porteuse



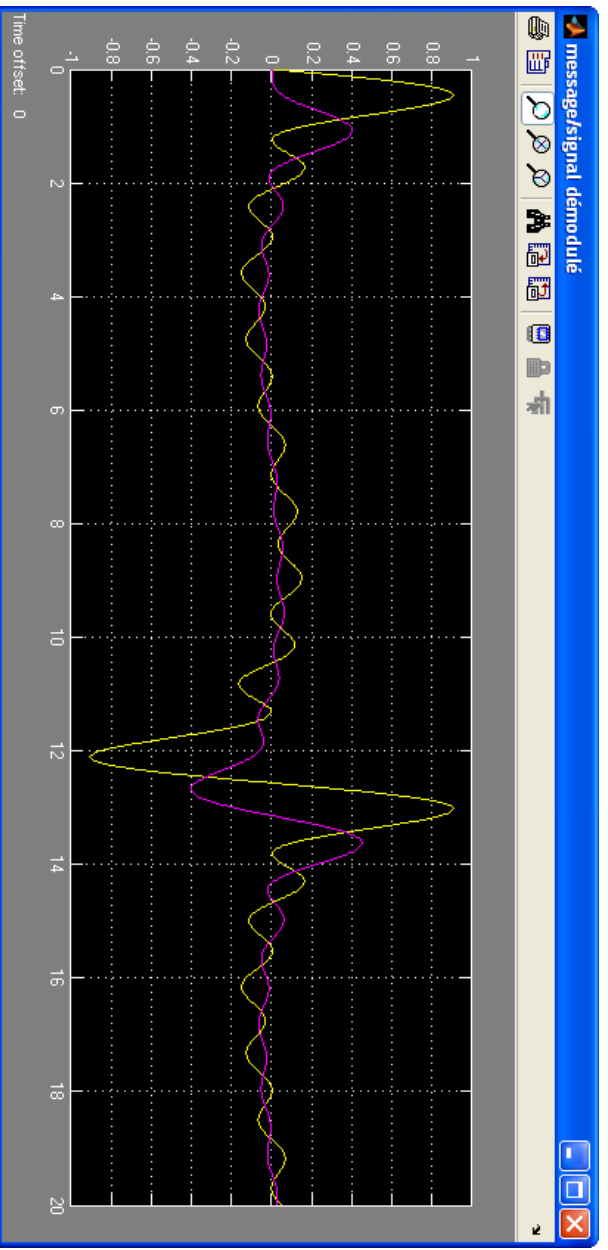
Problème de synchronisation

Démodulation Double Bande sans Porteuse



© Françoise Broille Mars 2006

Démodulation Double Bande sans Porteuse



© Françoise Broille Mars 2006

Démodulation Double Bande sans Porteuse

- Si le signal de démodulation n'est pas en phase avec la porteuse

✓ signal modulé multiplié par la porteuse déphasée

$$s_d(t) = s(t) p(t + \phi)$$

$$s_d(t) = [m(t) A \cos(2\pi F_0 t)] A \cos(2\pi F_0 t + \phi)$$

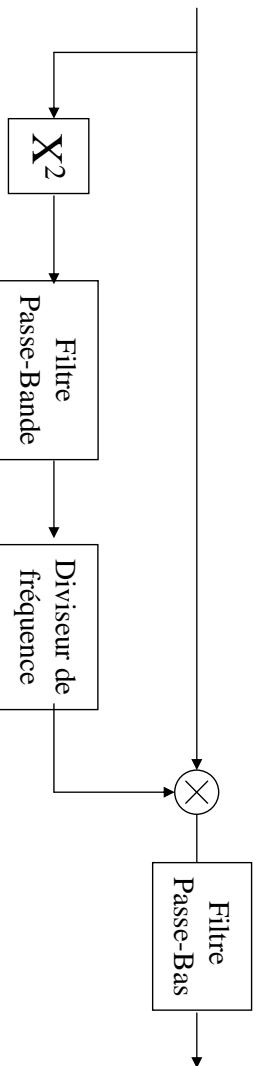
$$s_d(t) = \frac{A^2}{2} [m(t) \cos(\phi) + m(t) \cos(2\pi (2F_0) t + \phi)]$$

✓ filtré passe-bas

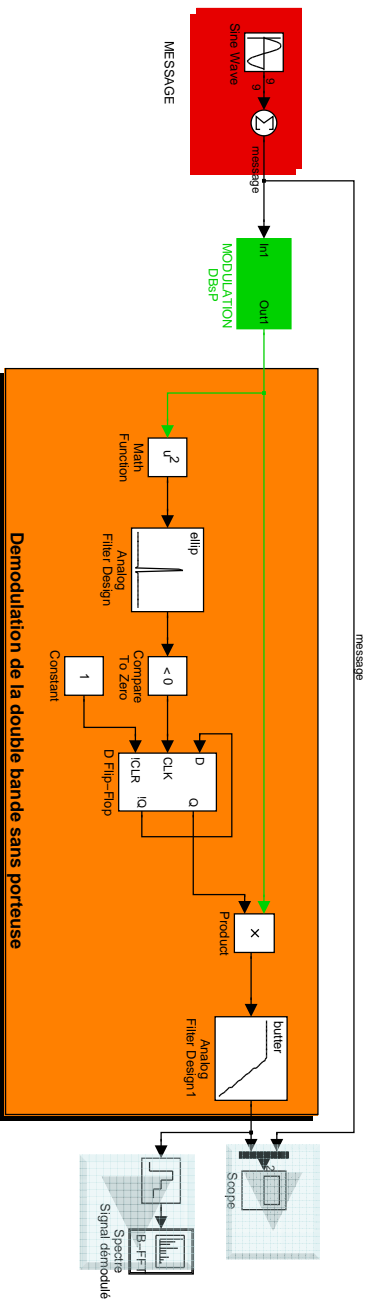
$$s_d(t) \sim m(t) \cos(\phi)$$

Démodulation Double Bande sans Porteuse

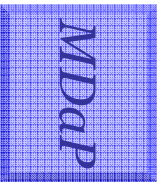
- On peut obtenir la porteuse à partir du signal modulé :



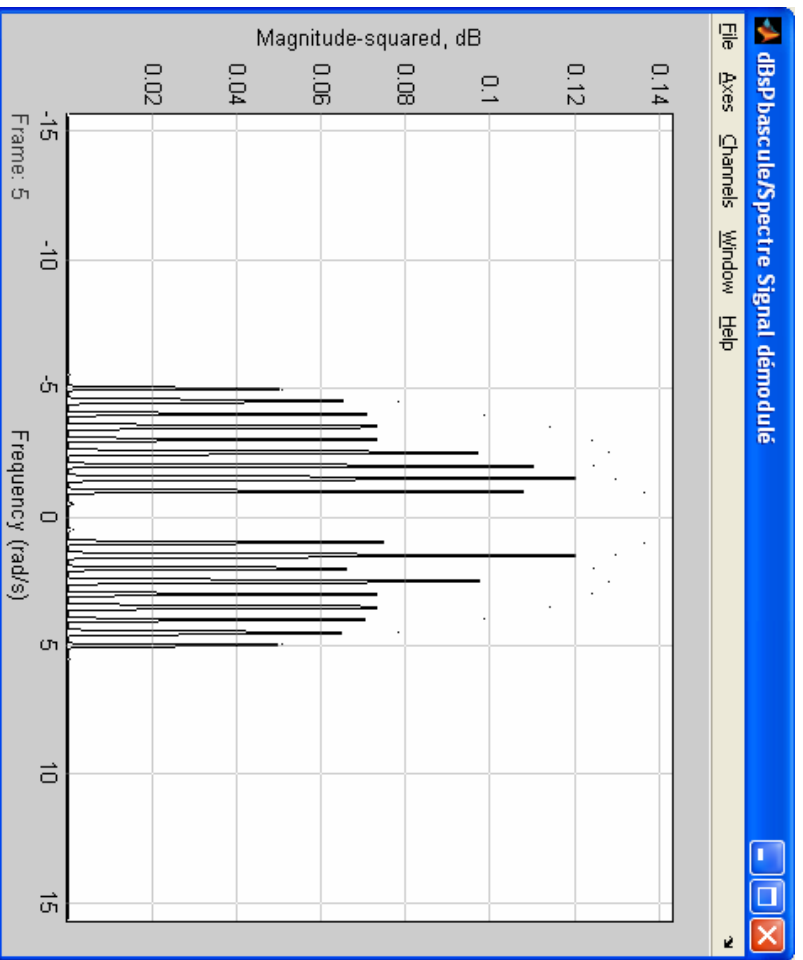
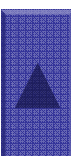
Démodulation Double Bande sans Porteuse



© Françoise Brollie Mars 2006



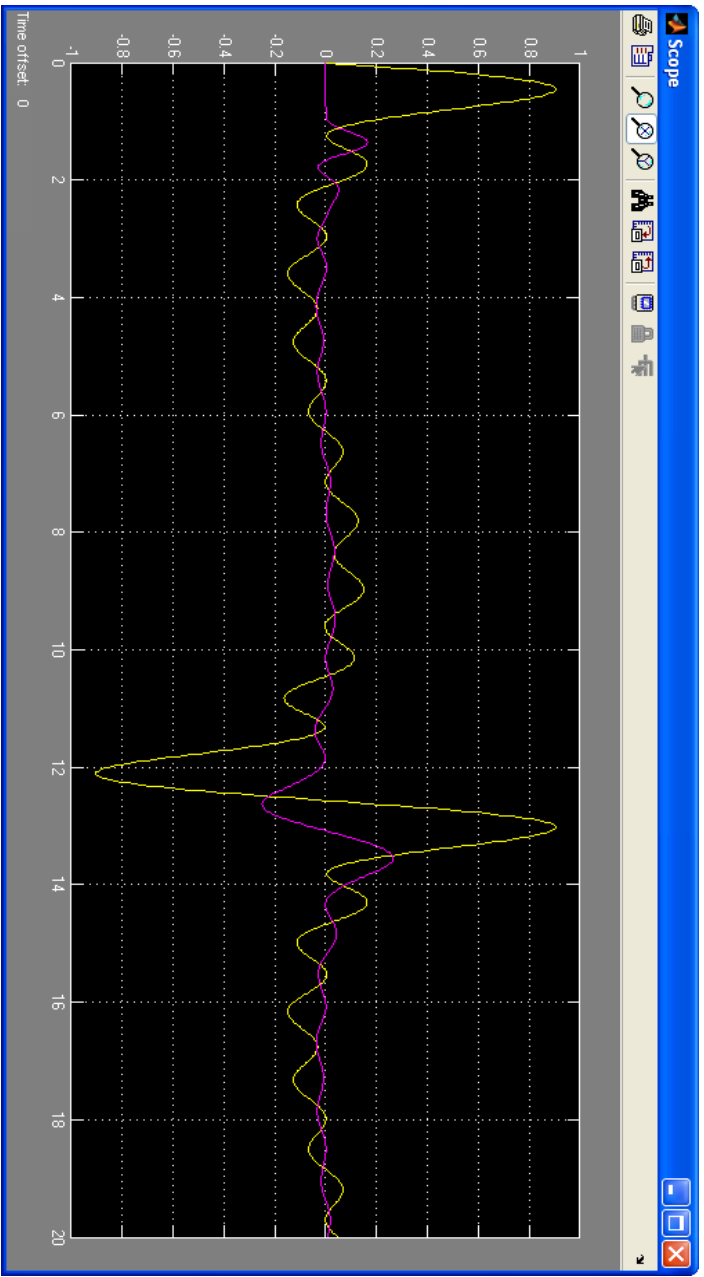
Démodulation Double Bande sans Porteuse



© Françoise Brollie Mars 2006



Démodulation Double Bande sans Porteuse



© Françoise Briolle Mars 2006

Modulation Double Bande avec Porteuse

DBaP

© Françoise Briolle Mars 2006

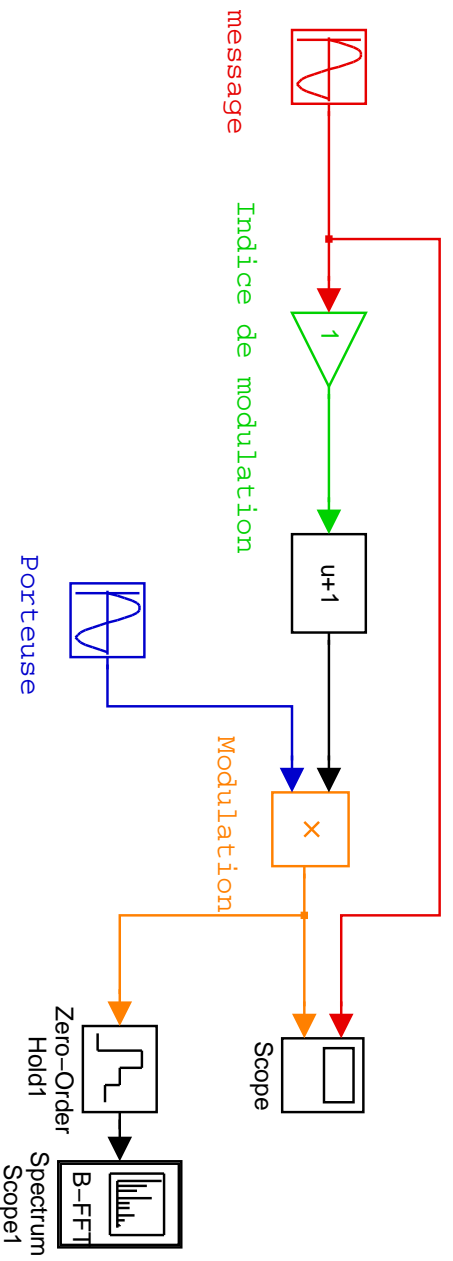
Modulation Double Bande avec Porteuse : DBaP

- ✓ $m(t)$ est un signal qui contient le message
- ✓ $p(t)$ la porteuse
 $p(t) = A \cos(2\pi F_0 t + \phi)$
- ✓ $s(t)$ le signal modulé
 $s(t) = p(t) + B m(t) \cos(2\pi F_0 t + \phi)$
 $s(t) = A(1 + k m(t)) \cos(2\pi F_0 t + \phi)$

k : indice de modulation

© Françoise Brolle Mars 2006

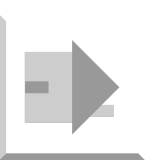
Modulation Double Bande avec Porteuse



$k = 0.5$

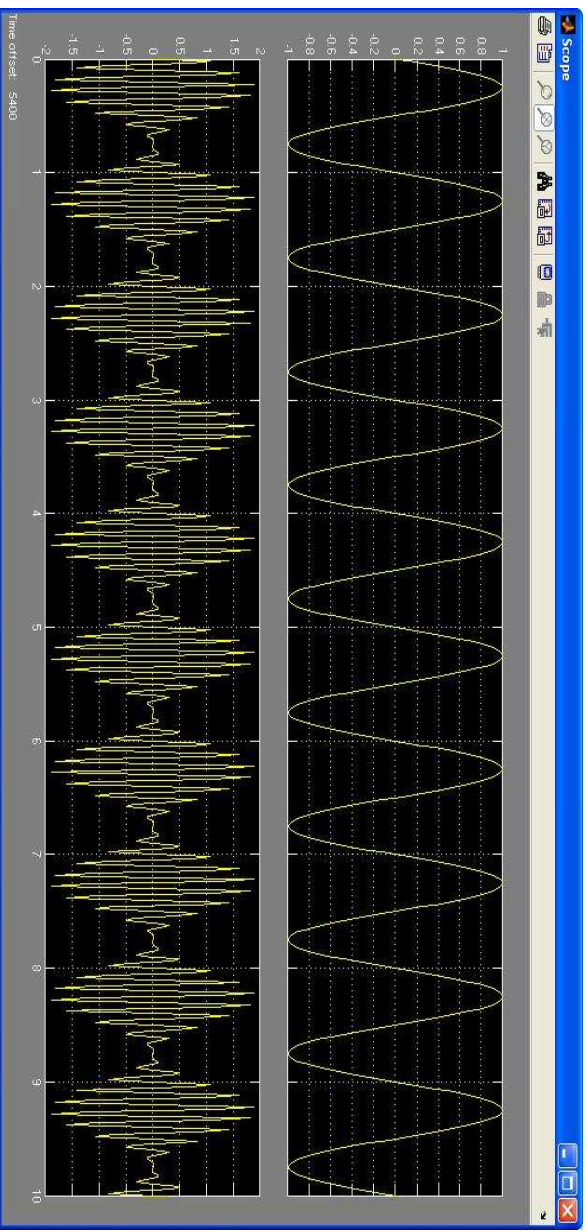
$k = 2$

© Françoise Brolle Mars 2006



DBaP

- ✓ Indice de modulation $k = 1$

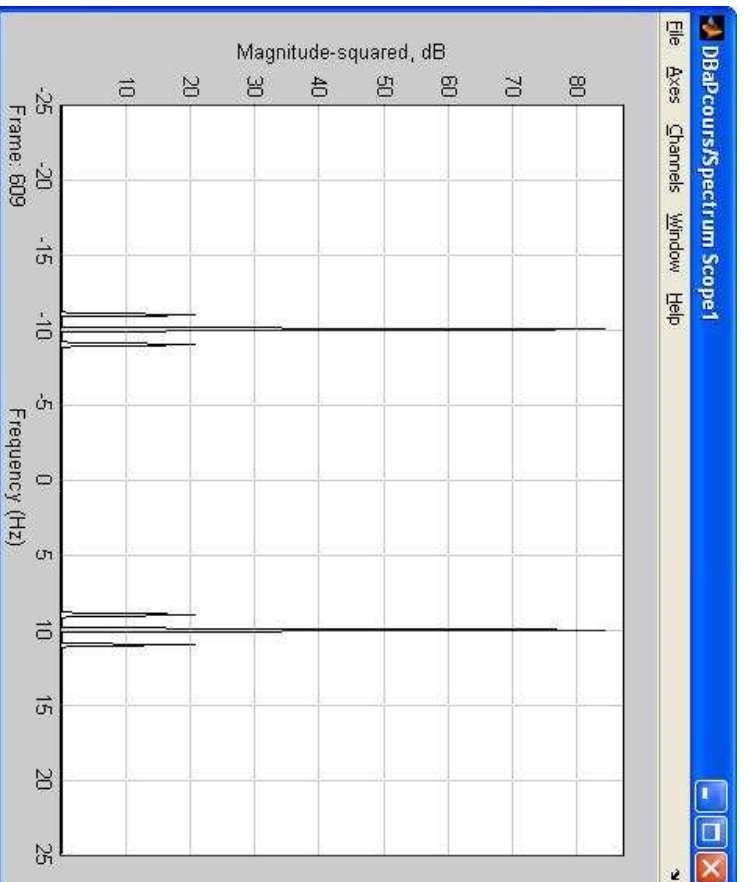


© Françoise Broille Mars 2006



DBaP

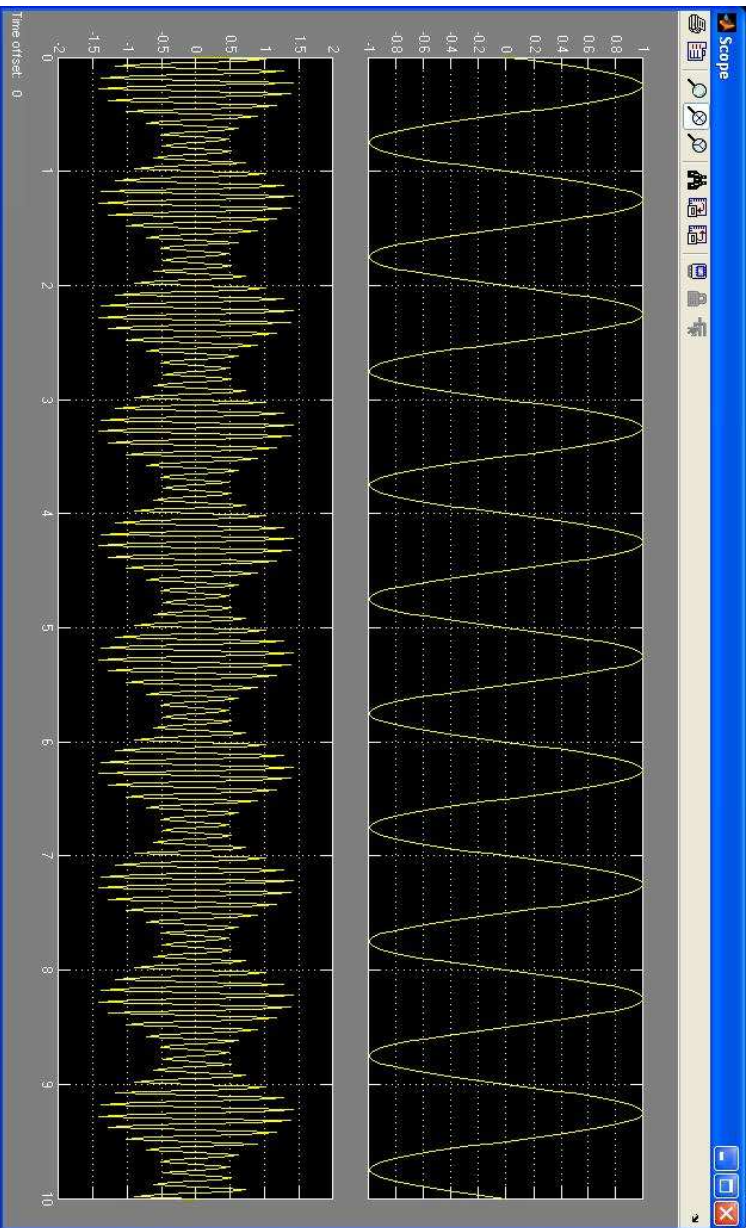
- ✓ Indice de modulation $k = 1$



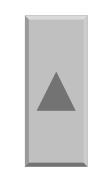
© Françoise Broille Mars 2006

DBaP

- Indice de modulation $k = 0.5$

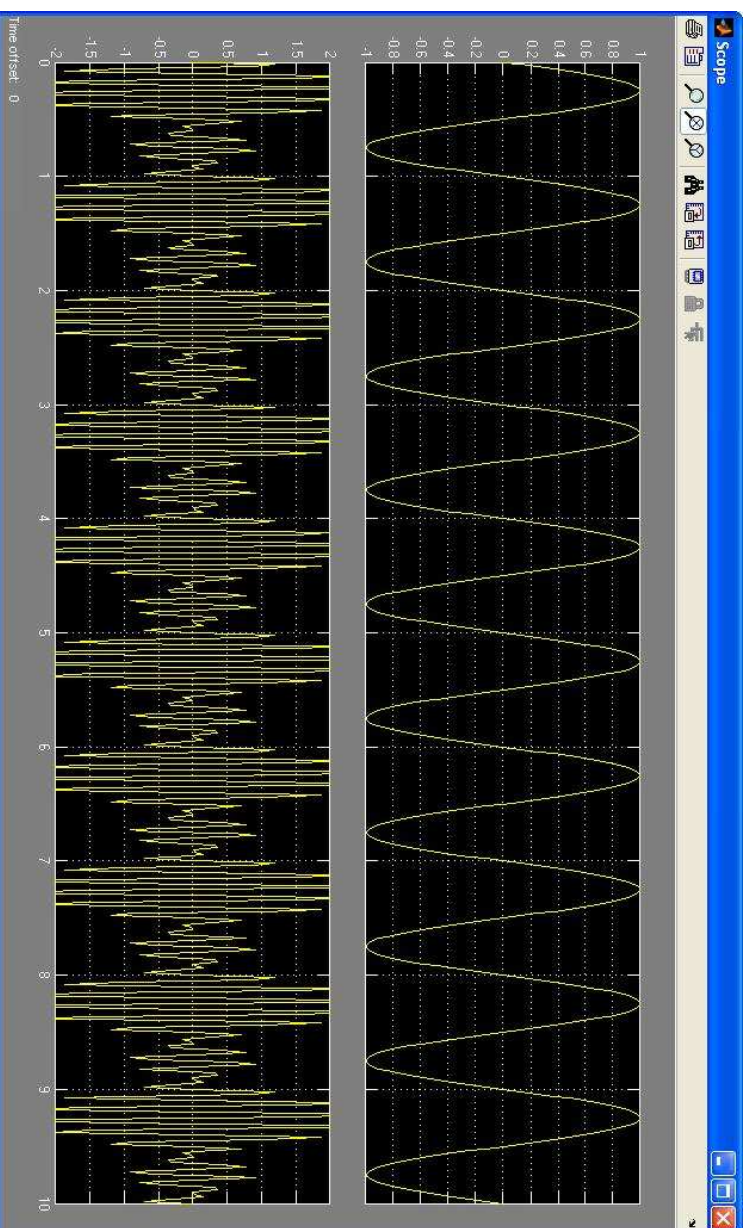


© Françoise Brolle Mars 2006



DBaP

- Indice de modulation $k = 2$



© Françoise Brolle Mars 2006

Modulation Double Bande avec Porteuse

✓ Puissances

- Dans le cas où $m(t)$ est une sinusoïde : $m(t) = \cos(2\pi f_m t)$

$$s(t) = A(1 + k m(t)) \cos(2\pi F_0 t) \quad k \leq 1$$

$$s(t) = A \cos(2\pi F_0 t)$$

$$+ \frac{A}{2} k \cos(2\pi(F_0 - f_m)t) + \frac{A}{2} k \cos(2\pi(F_0 + f_m)t)$$

- La puissance totale du signal modulé P_T est égale :

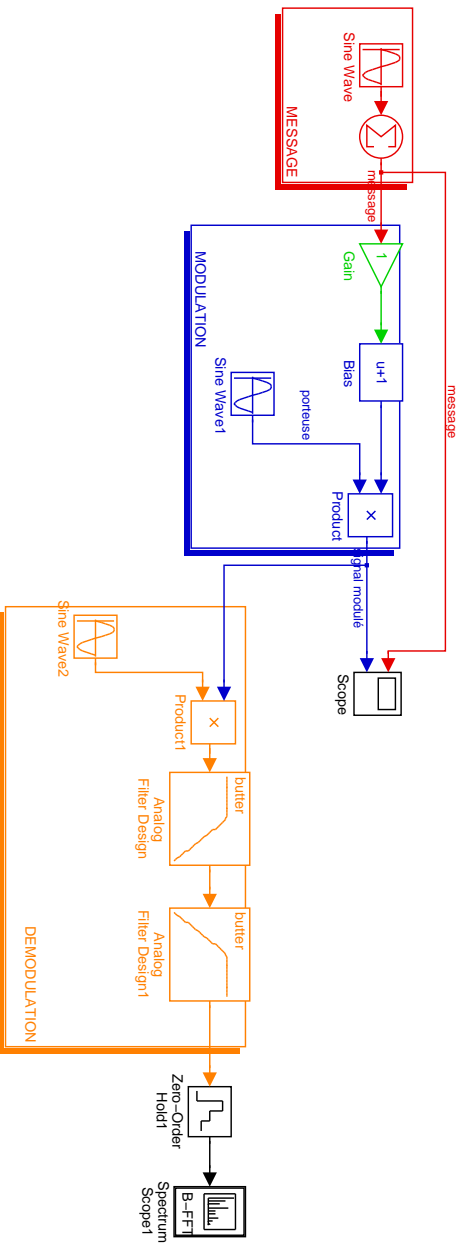
$$P_T = P_c + P_{USB} + P_{LSB}$$

$$\text{avec } P_{USB} = P_{LSB} = \frac{k^2}{4}$$

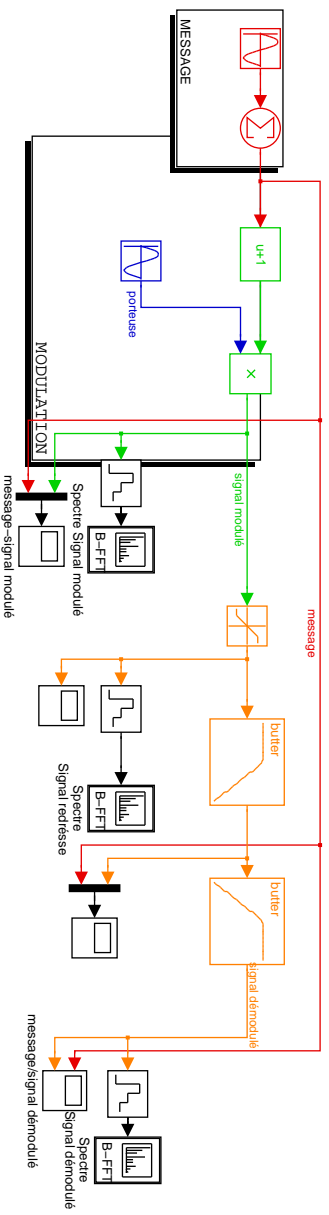
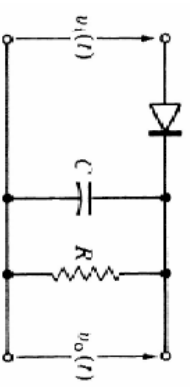
$$P_T = P_c \left(1 + \frac{k^2}{2}\right)$$

La puissance totale du signal modulé contient au moins 2/3 de la porteuse !

Démodulation synchrone

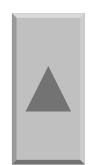


Démodulation par détection d'enveloppe

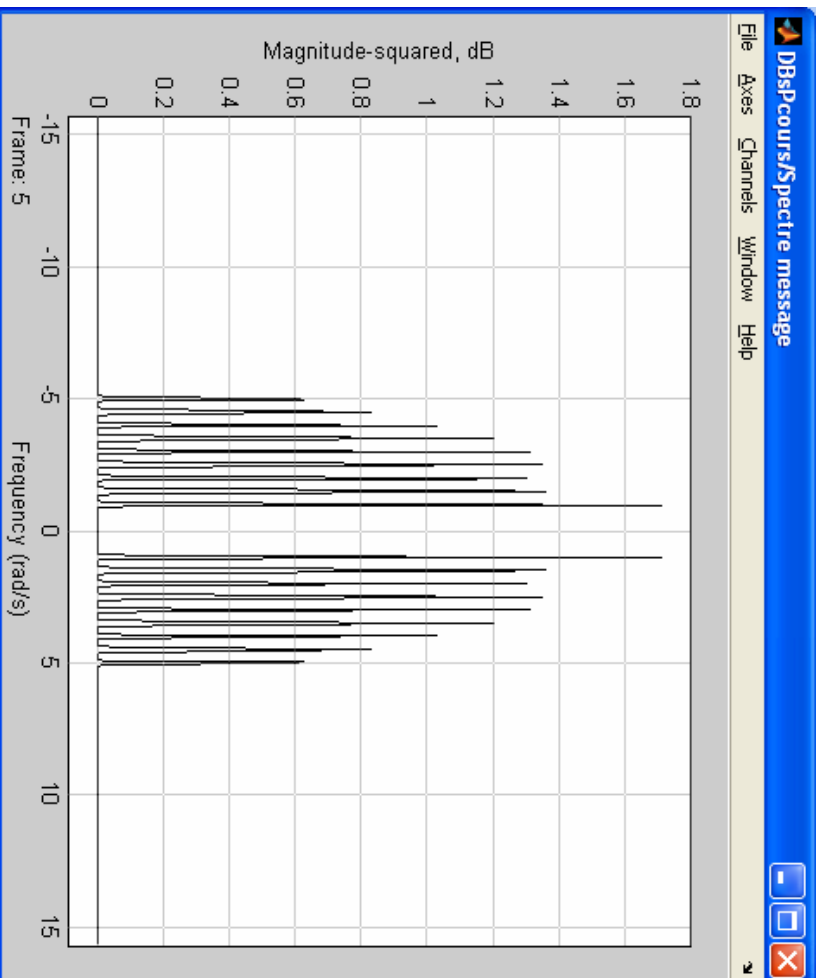


© Françoise Broille Mars 2006

DBSP

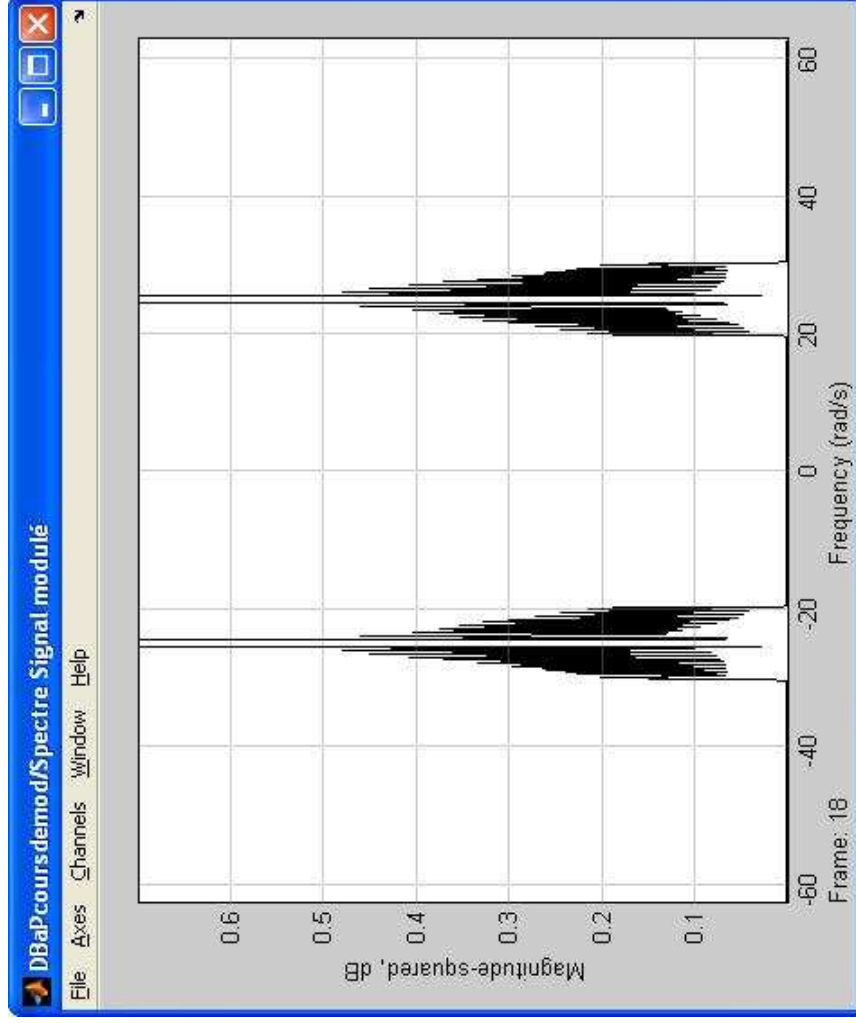


Spectre du message



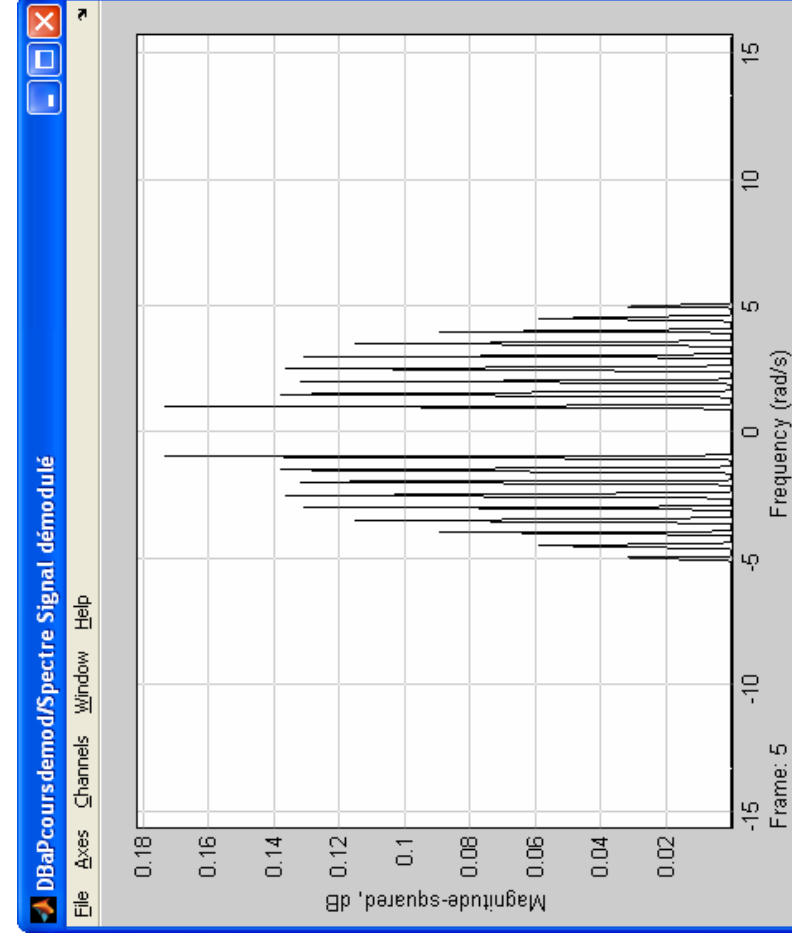
© Françoise Broille Mars 2006

Spectre du signal modulé



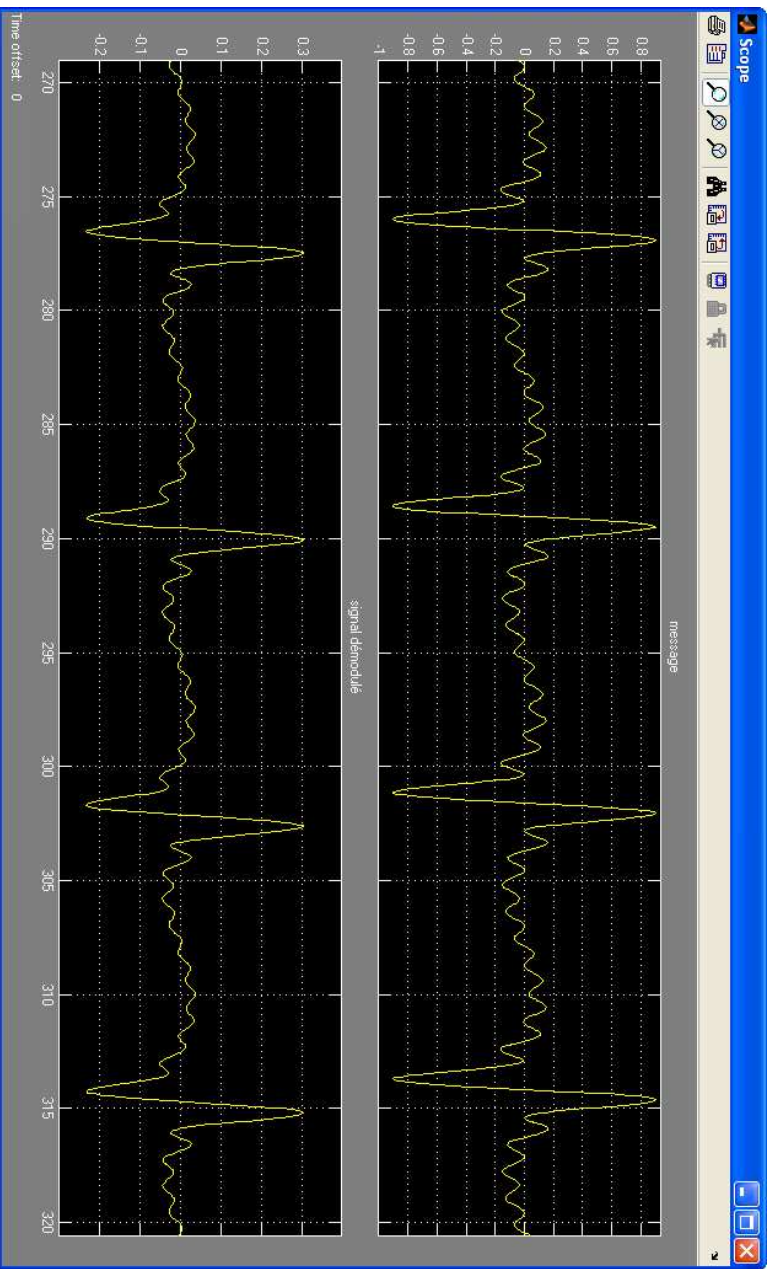
© Françoise Briolle Mars 2006

Signal démodulé



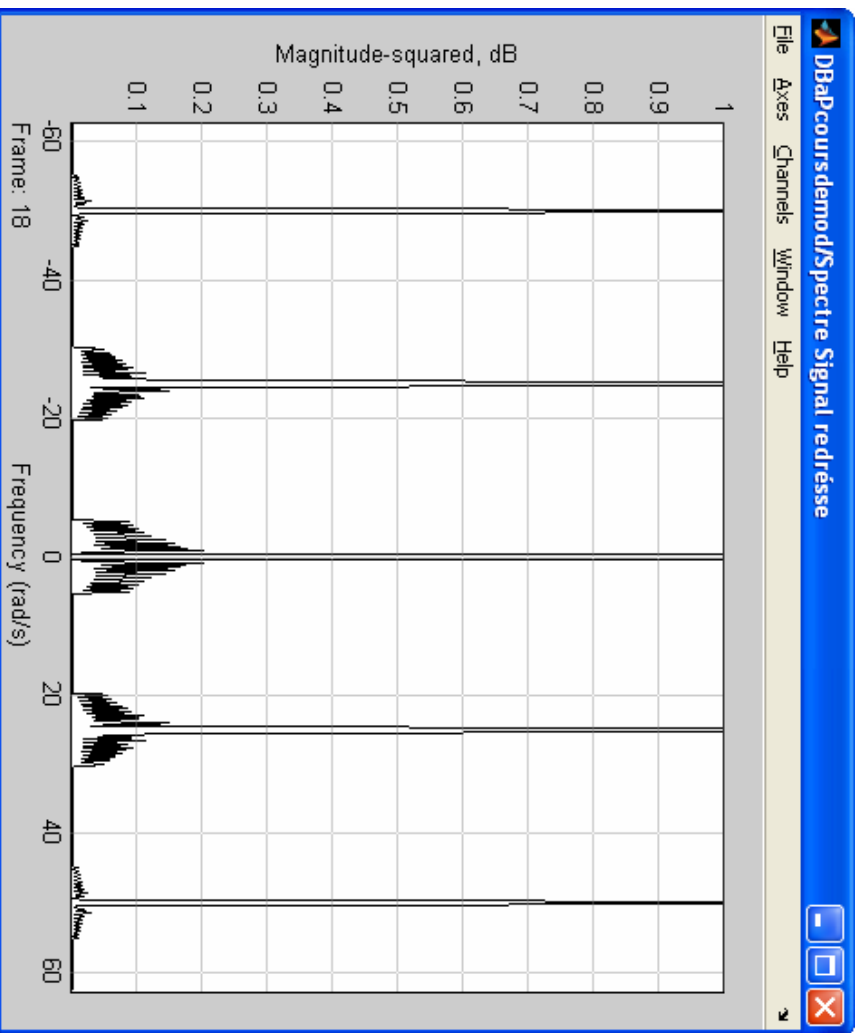
© Françoise Briolle Mars 2006

Signal original et signal modulé



© Françoise Broille Mars 2006

Signal en sortie de diode



© Françoise Broille Mars 2006

Conclusions

- ✓ Les Modulations d'Amplitude Double Bande avec ou sans Porteuse sont très faciles à réaliser
- ✓ La démodulation des Modulations d'Amplitude Double Bande avec Porteuse est très simple :
 - détection d'enveloppe
- ⇒ Elle est utilisée pour les transmissions radio
- ☹️ Pb : ce sont des modulations qui demandent de l'énergie et de la bande passante....

© Française Braille Mars 2006

Modulation Bande Latérale Unique

BLU

© Française Braille Mars 2006

Modulation à Bande Latérale Unique

➤ Le principe :

On souhaite que le signal modulé (transmis) ne contienne que l'information contenue dans le message.

✓ On ne va pas transmettre la porteuse

✓ On ne va transmettre qu'une « bande » du signal : la bande haute (USB) ou la bande basse (LSB)

© Françoise Broille Mars 2006

Modulation à Bande Latérale Unique

➤ Le problème

✓ Il va falloir éliminer la bande haute ou la bande basse du signal transmis.

✓ Si on le fait lorsque le signal est modulé autour de f_0 , il faudra éliminer des filtres d'ordre très élevé pour éliminer une des bande Irréalisable

➤ La solution

✓ Il faudra éliminer la bande basse (ou haute) en basse fréquence

© Françoise Broille Mars 2006

Modulation à Bande Latérale Unique

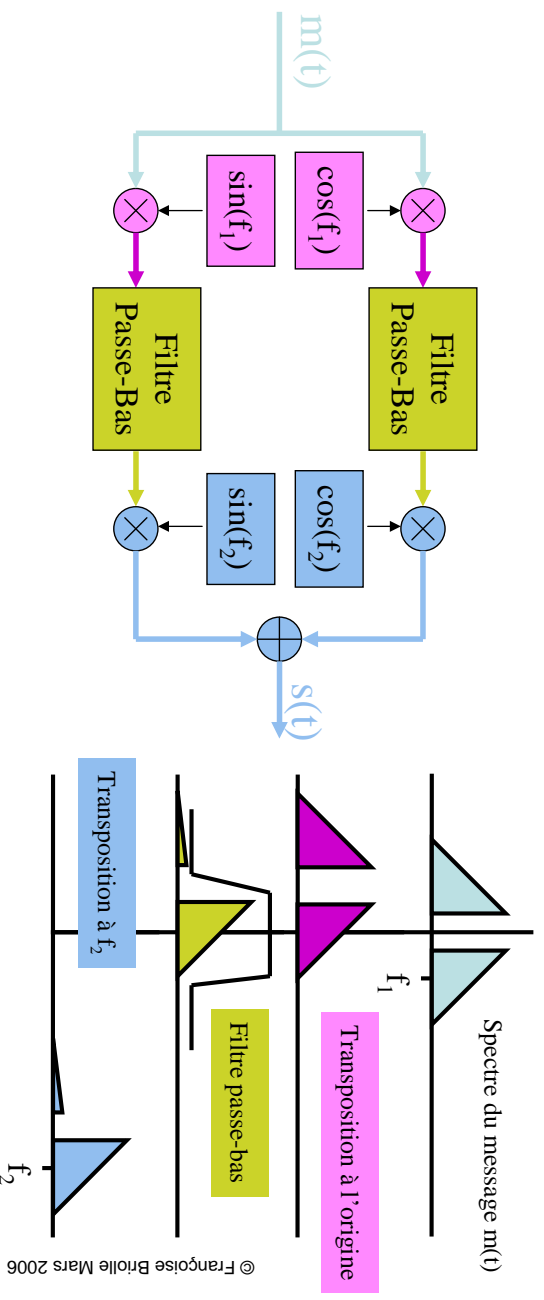
➤ La méthode de Weaver

- ✓ Le message $m(t)$ occupe la bande $[0 \frac{B}{2}]$ et $[0 \frac{-B}{2}]$
- ✓ On translate le signal (en quadrature) autour de $\frac{B}{2}$
- ✓ On filtre passe-bas par un filtre $f_c = \frac{B}{2}$ pour ne garder que la bande haute
- ✓ On module (en quadrature) pour transporter la bande basse du signal autour de F_0

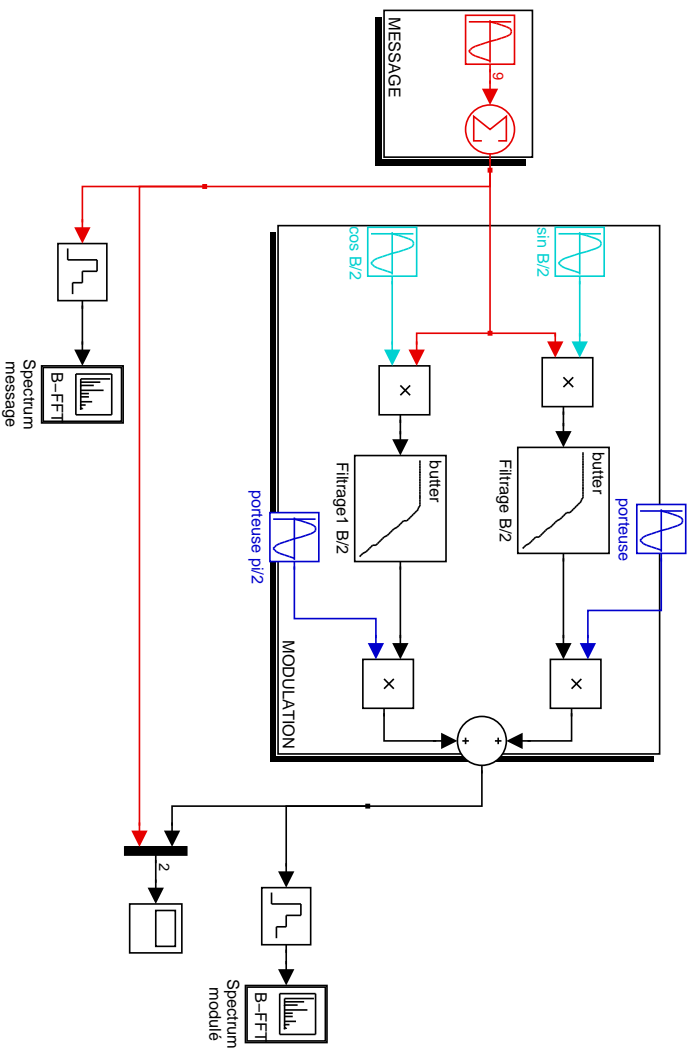
© Françoise Broille Mars 2006

Modulation à Bande Latérale Unique

Méthode de Weaver: filtrage en quadrature

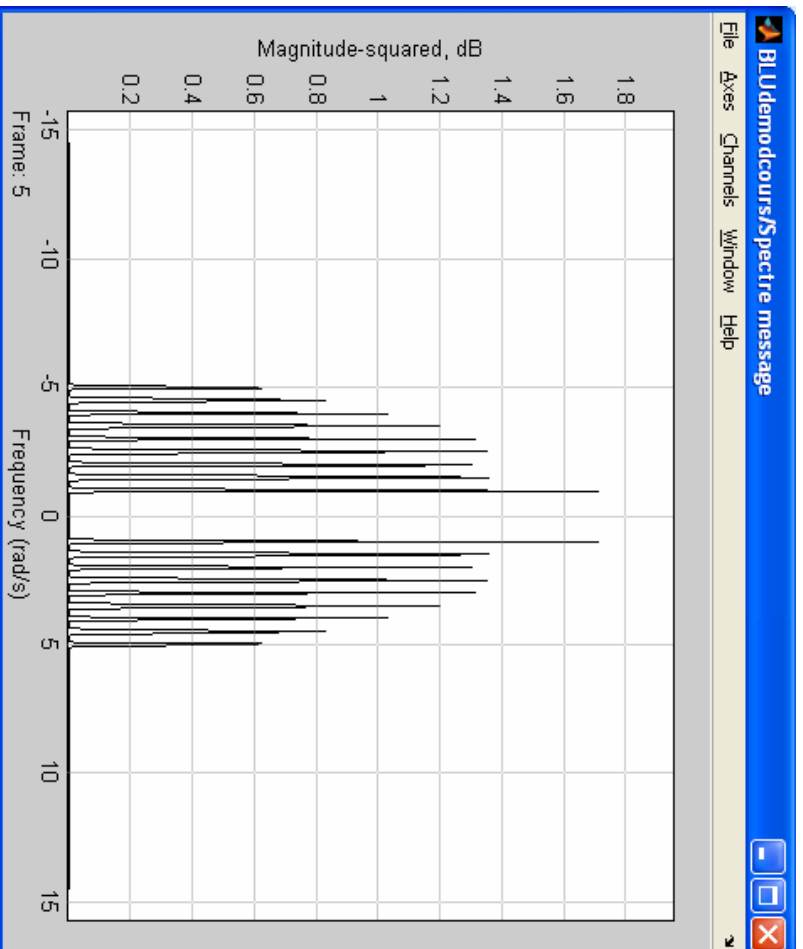


Modulation Bande Latérale Unique



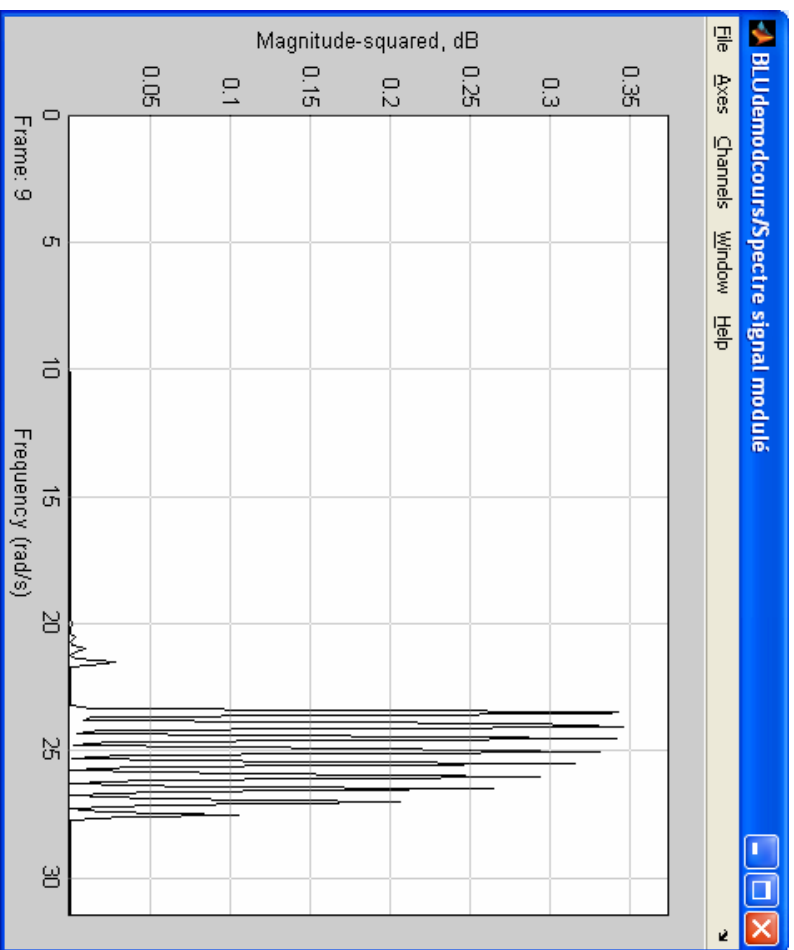
© Françoise Brille Mars 2006

Modulation Bande Latérale Unique



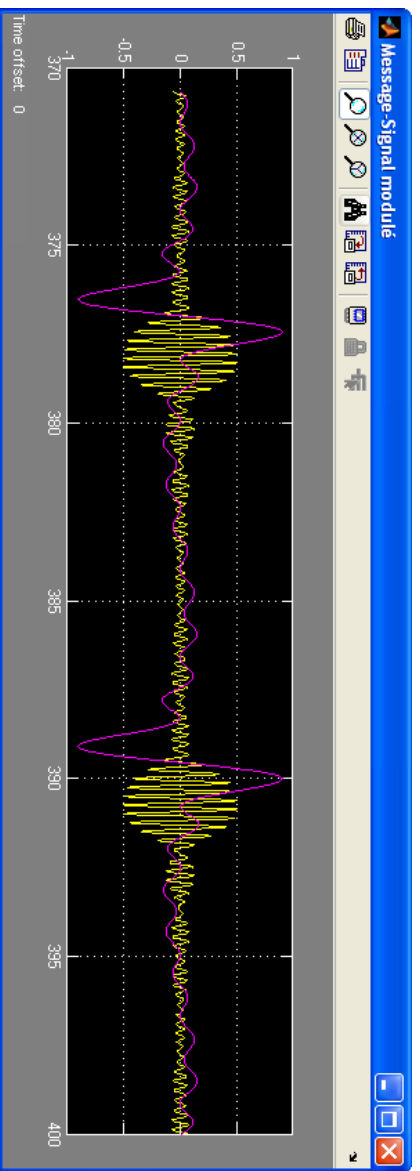
© Françoise Brille Mars 2006

Modulation Bande Latérale Unique



© Françoise Brolle Mars 2006

Modulation Bande Latérale Unique

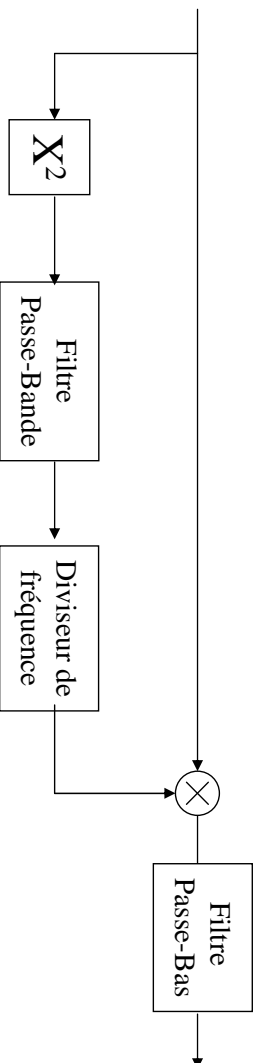


© Françoise Brolle Mars 2006

Démodulation BLU

➤ Démodulation synchrone

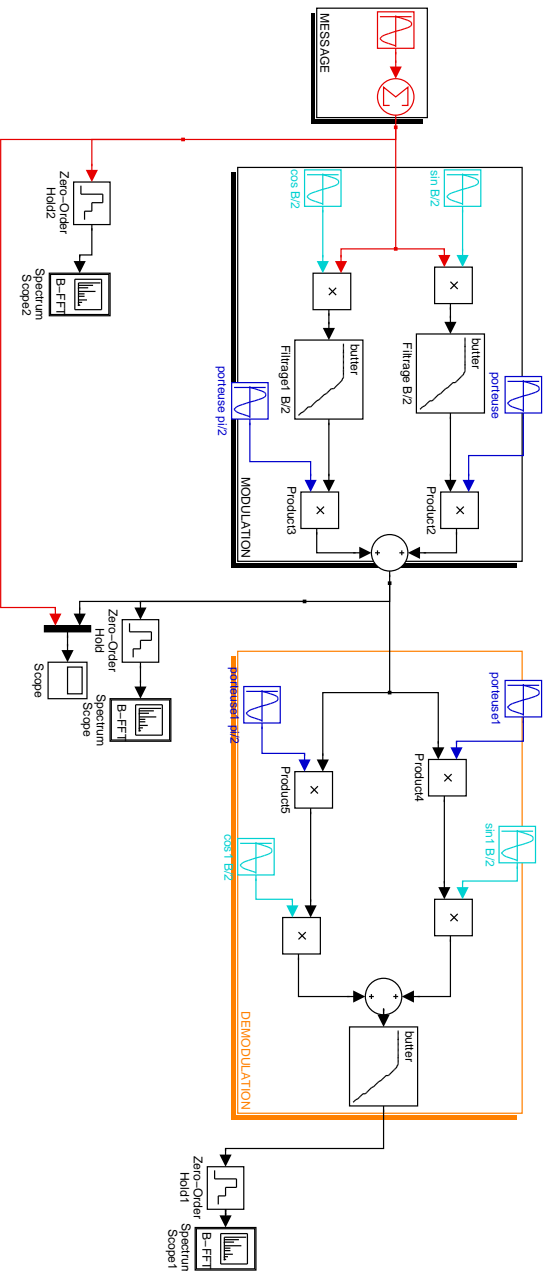
- ✓ Pb de synchronisation entre la porteuse et la sinusoïde utilisée pour la démodulation
- ✓ Possibilité d'obtenir la porteuse à partir de signal modulé :



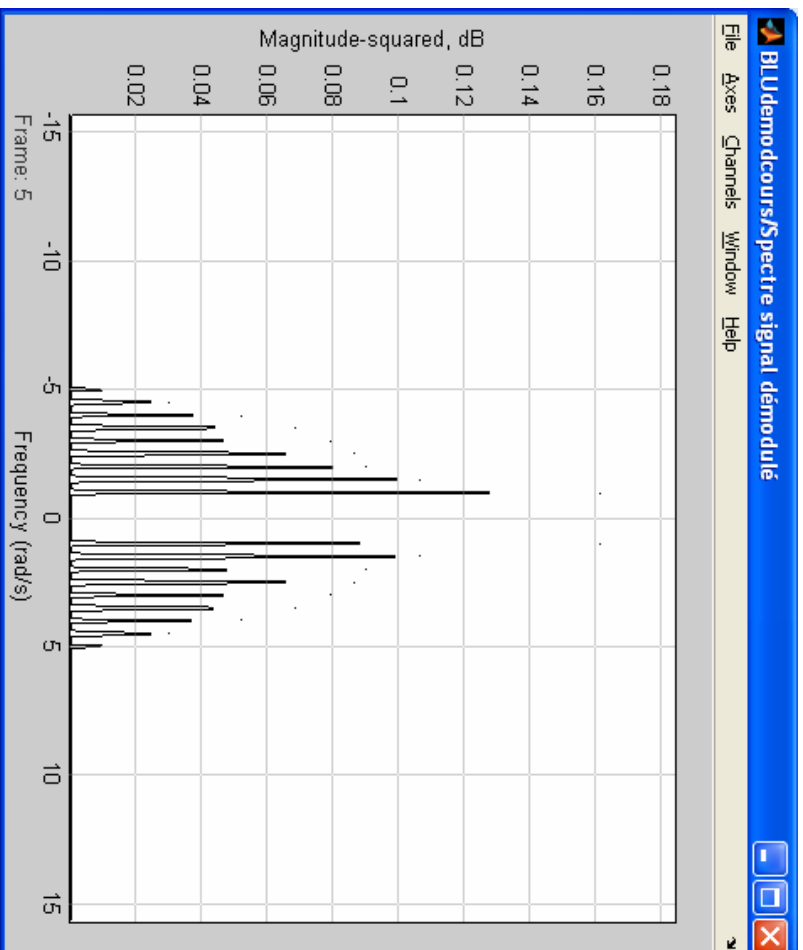
➤ Démodulation par détection d'enveloppe

- ✓ On transmet la porteuse pour pouvoir réaliser une détection d'enveloppe

Démodulation synchrone BLU



Démodulation synchrone BLU



© Françoise Broille Mars 2006

Conclusions

Modulation	Largeur de Bande du signal transmis	Complexité	Sensibilité au bruit	Démodulation	Application
DBsP	2B	faible	moyenne	synchrone	Transmis .radio
DBaP	2B	faible	grande	enveloppe	Transmis .radio
BLU	B	important ^e	petite	synchrone	TV
BLU + porteuse	B	important ^e	faible	enveloppe	TV

© Françoise Broille Mars 2006

La modulation non linéaire

- ✓ Le message $m(t)$
- ✓ La porteuse $p(t)$
- ✓ Le signal modulé $s(t) = a(t) \cos(2\pi F_0 t + \phi(t))$
- Modulation d'amplitude :
le message est contenu dans $a(t)$
- Modulation de fréquence :
le message est contenu dans $2\pi F_0 t + \phi(t)$

© Françoise Broille Mars 2006

La modulation non linéaire

- Phase instantanée :
$$\Theta(t) = 2\pi F_0 t + \phi(t)$$

- Modulation de Phase

$$\Theta(t) = 2\pi F_0 t + k_p m(t)$$

$$s(t) = A \cos(2\pi F_0 t + k_p m(t))$$

© Françoise Broille Mars 2006

Modulation de fréquence

- Fréquence instantanée :

$$F_i(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi(t)}{dt} = F_0 t + k_f m(t)$$

- Signal modulé en fréquence :

$$s(t) = A \cos(2\pi F_0 t + 2\pi k_f \int_0^t m(u) du)$$

