



Chapitre 2 : Modulations linéaires d'amplitude (AM)

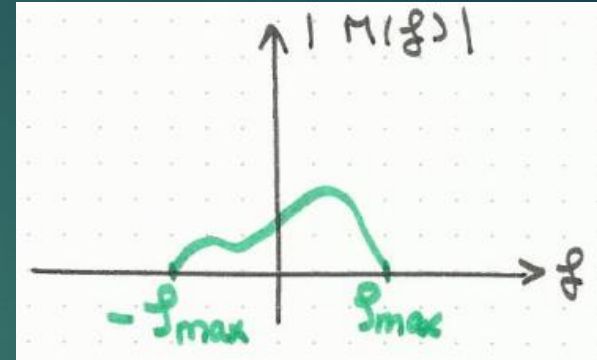
COURS TECHNIQUES DE TRANSMISSION

FILIERE : GL2 - INSAT

RESPONSABLE DU COURS/TD : RIM AMARA

1. Modulation Double Bande Sans Porteuse (DBSP)

Soit $m(t)$ un signal BF de spectre suivant



le signal modulé selon la Double Bande Sans Porteuse (DBSP) s'écrit

$$\underbrace{\hat{s}_{DBSP}(t)}_{\text{signal modulé}} = A_0 \cos(2\pi f_0 t) \cdot m(t)$$

la porteuse modulant.

A_0 : amplitude de la porteuse

f_0 : fréquence porteuse (en MHz)

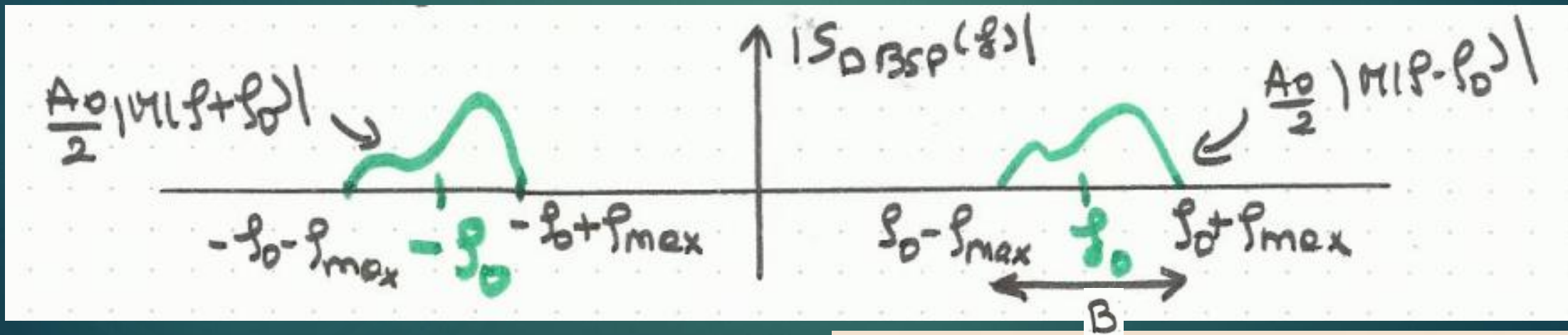
on choisit $f_0 \gg f_{\max}$

f_0 : fréquence porteuse

Spectre du signal DBSP

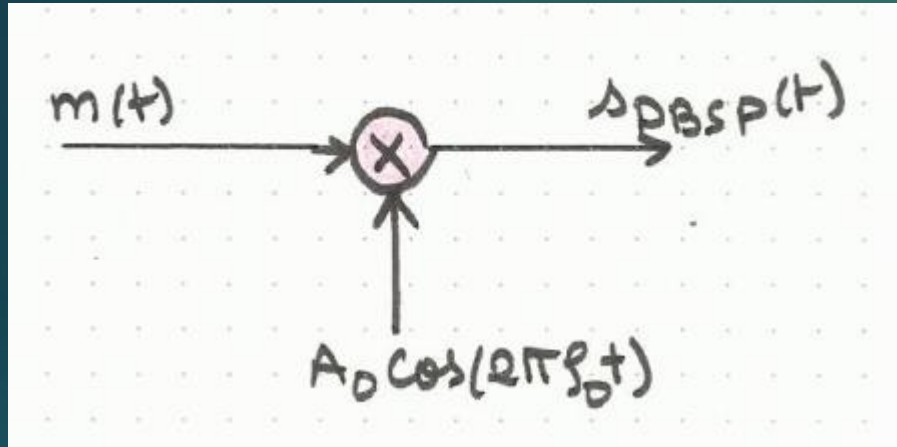
$$\begin{aligned} S_{\text{DBSP}}(f) &= A_0 \text{TF}\{\cos(2\pi f_0 t)\} * M(f) \\ &= \frac{A_0}{2} (\delta(f-f_0) + \delta(f+f_0)) * M(f) \end{aligned}$$

$$S_{\text{DBSP}}(f) = \frac{A_0}{2} (M(f-f_0) + M(f+f_0))$$



$B = 2f_{\text{max}}$: occupation spectrale du signal DBSP

Spectre du signal DBSP

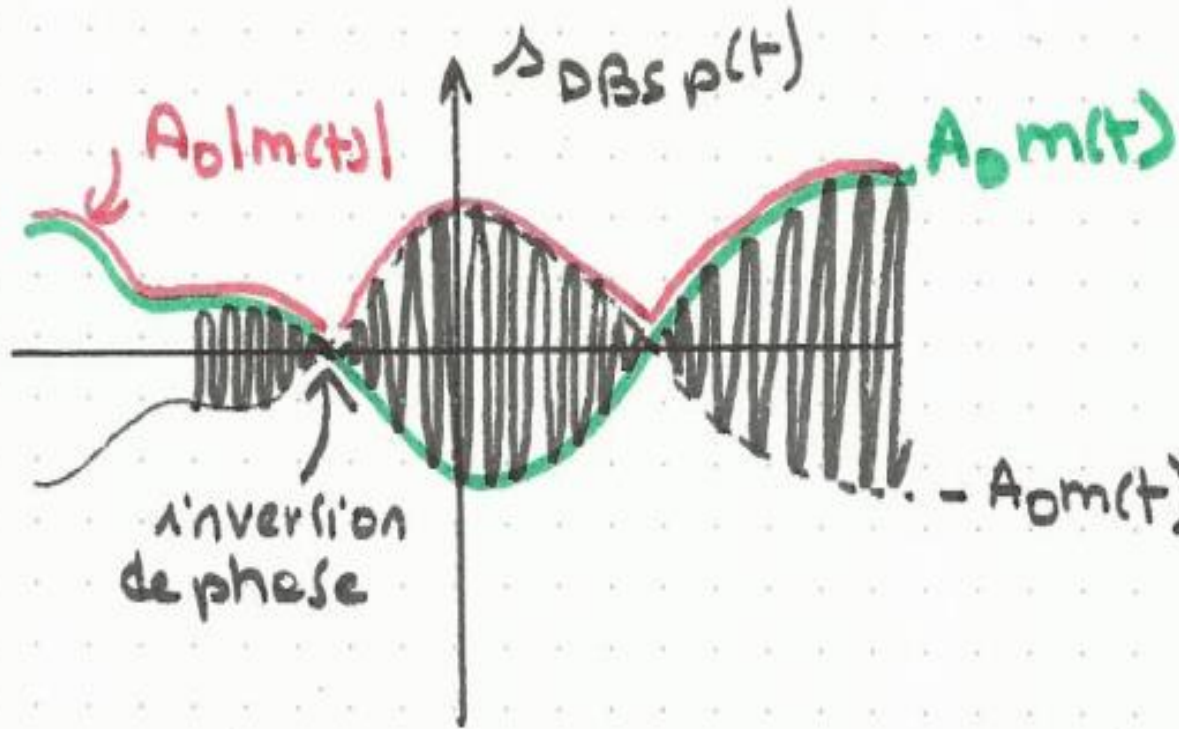


la modulation réalise la translation du spectre du signal $m(t)$ à transmettre vers la Bande HF.

le signal module' DBSP est à transmettre à travers le milieu de transmission.

il peut être transformé en onde électromagnétique (EM) pour une transmission radio.

Allure temporelle du signal modulé selon la DBSP



$A_0|m(t)|$: enveloppe de $s_{DBSP}(t)$

-enveloppe $\leq s_{DBSP}(t) \leq$ enveloppe

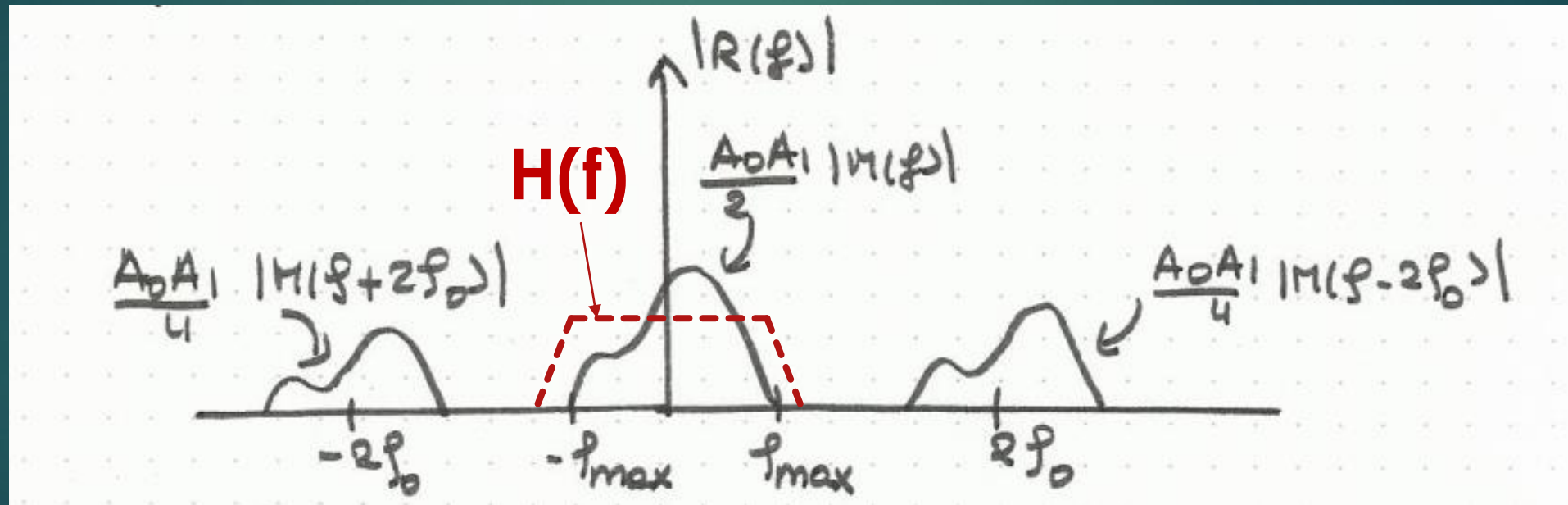
Démodulation du signal DBSP

Démoduler le signal DBSP consiste à récupérer le message transmis traduit par le modulant $m(t)$ à partir de $s_{\text{DBSP}}(t)$.

$$\begin{aligned} r(t) &= A_1 \cos(2\pi f_0 t) \cdot s_{\text{DBSP}}(t) = A_0 A_1 m(t) \cos^2(2\pi f_0 t) \\ &= \frac{A_0 A_1}{2} m(t) (1 + \cos(4\pi f_0 t)) \\ \hookrightarrow &= \underbrace{\frac{A_0 A_1}{2} m(t)}_{\text{BF}} + \underbrace{\frac{A_0 A_1}{2} m(t) \cos(4\pi f_0 t)}_{\text{HF}} \end{aligned}$$

Démodulation du signal DBSP

$$R(f) = \mathcal{F}\{r(t)\} = \frac{A_0 A_1}{2} M(f) + \frac{A_0 A_1}{4} (M(f - 2f_0) + M(f + 2f_0))$$



Démodulation du signal DBSP

si on désigne par $h(t)$ la RI du filtre passe-bas, on a

$$s_{\text{demod}}(t) = r(t) * h(t)$$

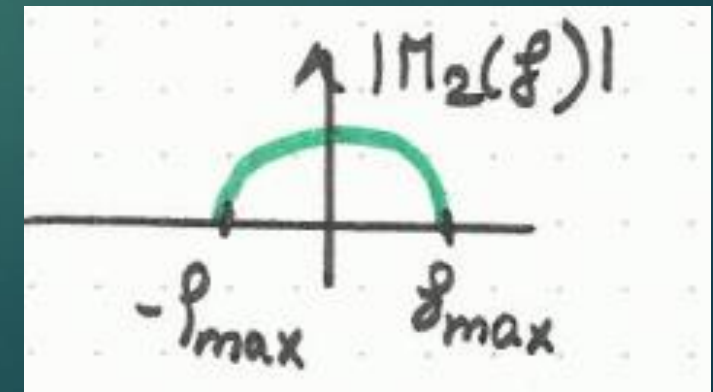
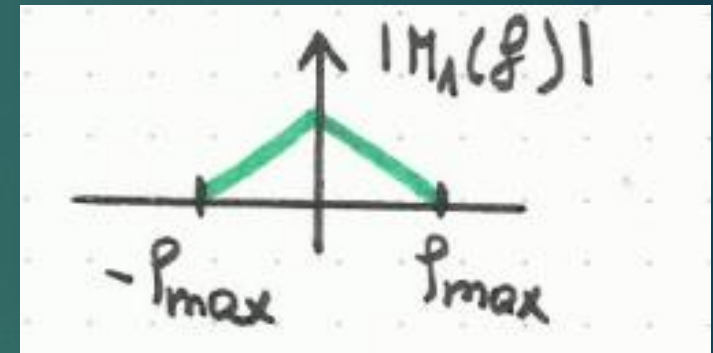
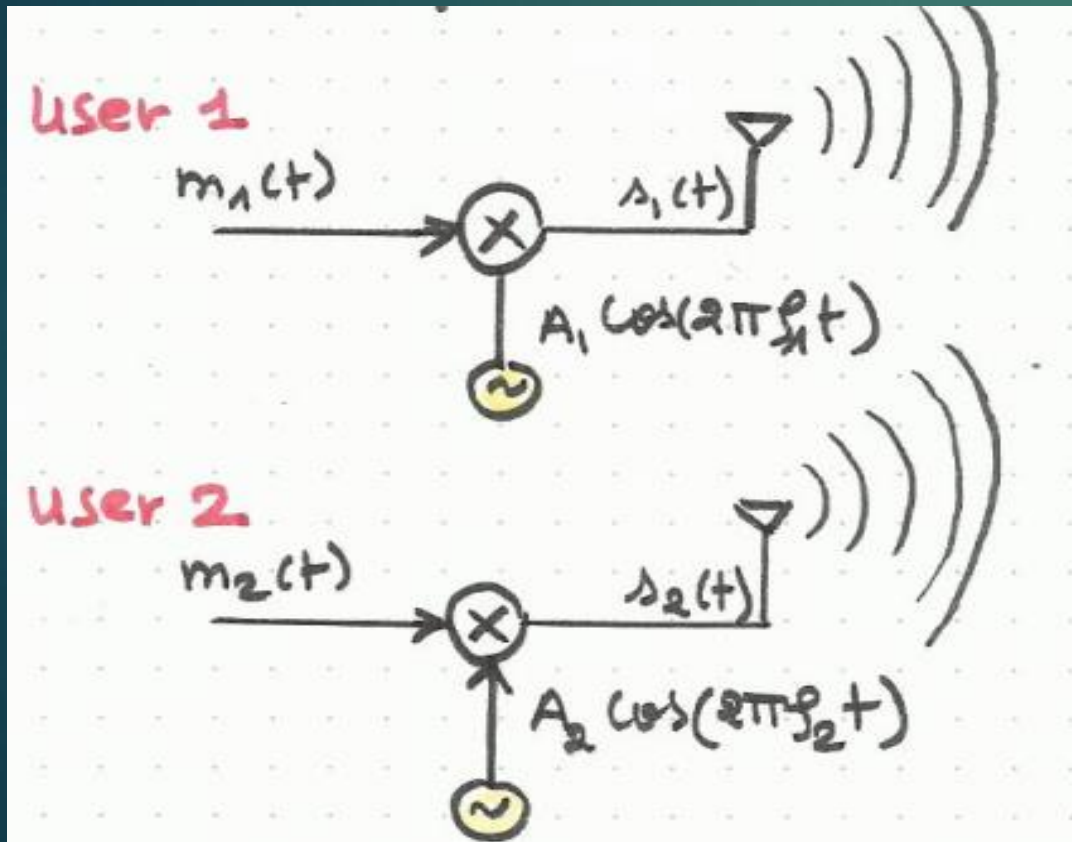
$$\begin{aligned} s_{\text{demod}}(t) &= r(t) * h(t) \\ \downarrow \text{TF} \\ S_{\text{demod}}(f) &= R(f) \cdot H(f) \\ &= \left[\frac{A_0 A_1}{2} m(f) + \frac{A_0 A_1}{4} (m(f - 2f_0) + m(f + 2f_0)) \right] \cdot H(f) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{demod}}(f) &= \frac{A_0 A_1}{2} m(f) \\ \downarrow \\ s_{\text{demod}}(t) &= \frac{A_0 A_1}{2} m(t) : \text{opération de démodulation assurée} \end{aligned}$$

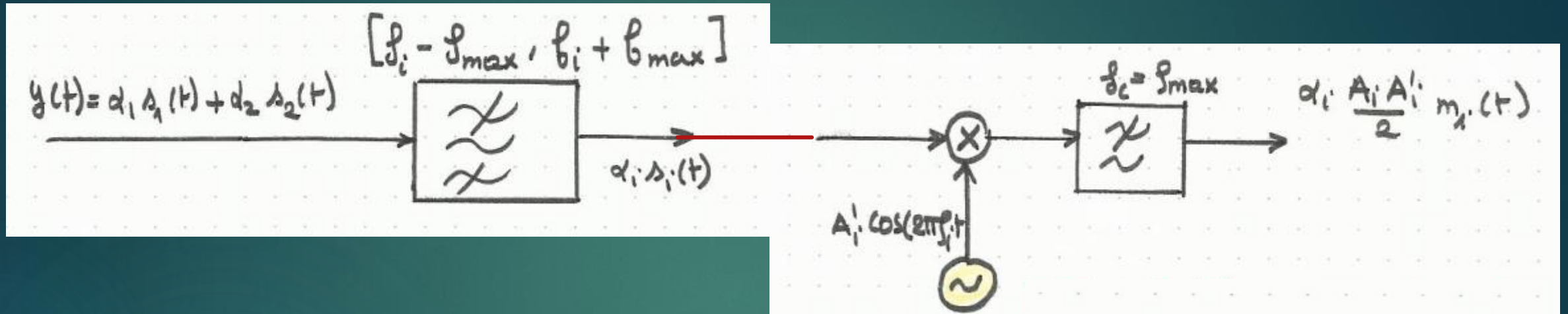
le modulateur se place du côté de l'émetteur et
le démodulateur du côté du récepteur.

Application : multiplexage fréquentiel

Soient 2 modulateurs BF $m_1(t)$ et $m_2(t)$ qu'on veut transmettre par une DBSP à 2 fréquences différentes f_1, f_2 et identifier le schéma de démodulation/récepteur à préconiser.



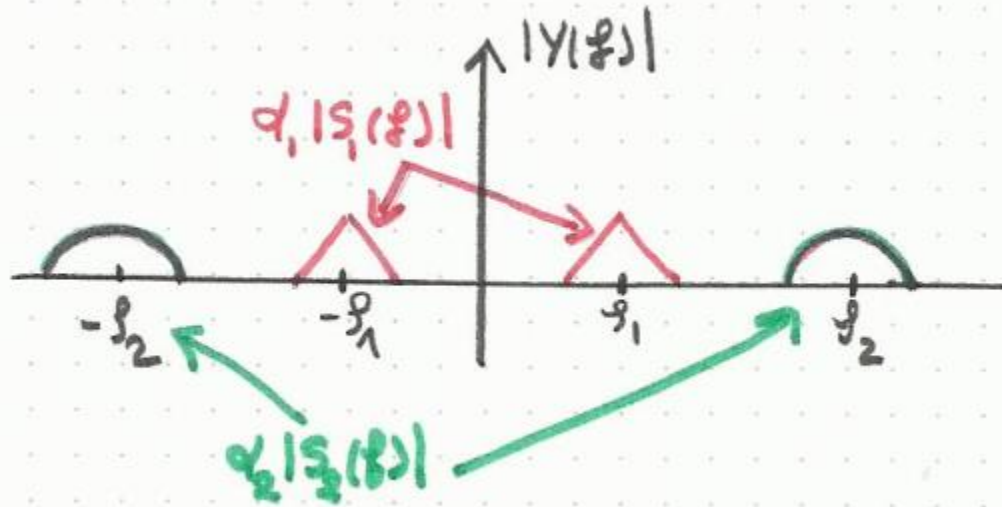
Application : multiplexage fréquentiel



spectre du sig. modulé corresp. à $m_i(t)$

$$Y(f) = \alpha_1 S_1(f) + \alpha_2 S_2(f) = \frac{\alpha_1 A_1}{2} (\Pi_1(f - f_1) + \Pi_1(f + f_1)) + \frac{\alpha_2 A_2}{2} (\Pi_2(f - f_2) + \Pi_2(f + f_2))$$

Application : multiplexage fréquentiel

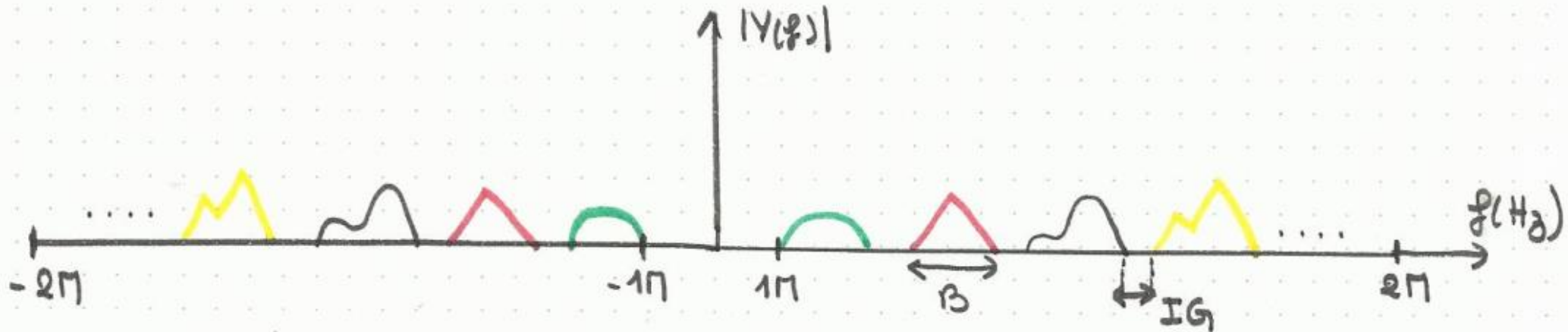


- les signaux modulés des 2 utilisateurs sont séparables et reconnaissables dans le domaine fréquentiel.
- éviter les interférences inter-canaux radio en prenant $|f_2 - f_1| > 2f_{\max}$

Le multiplexage fréquentiel consiste à octroyer différentes bandes fréquentielles à différents utilisateurs pour qu'ils puissent effectuer les transmissions de leurs signaux. La fréquence centrale, de chaque bande correspond à la fréq. porteuse, vers laquelle est traduit le spectre du modulant à transmettre.

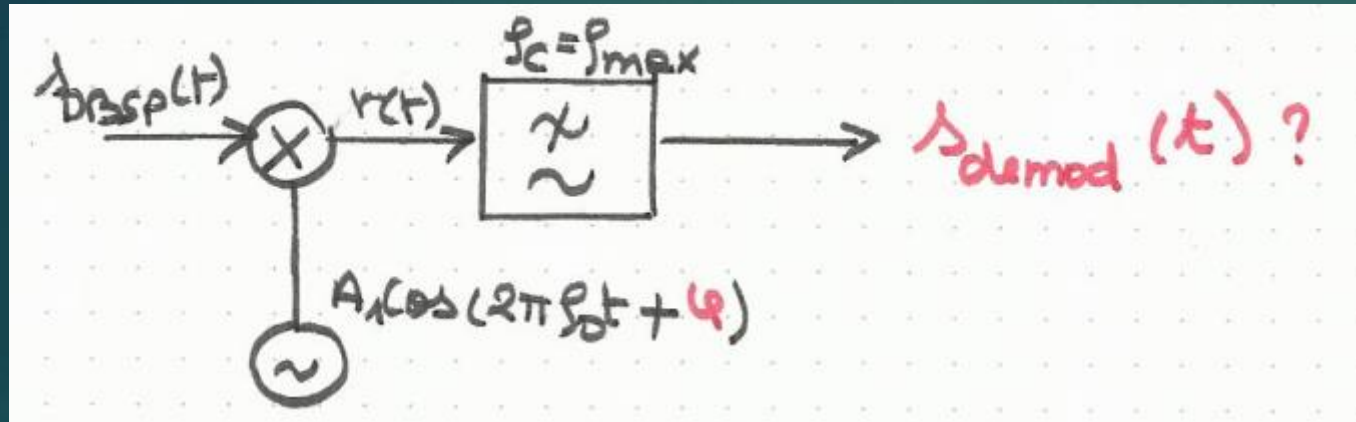
Exercice

Exo on doit avoir une certaine largeur de bande de $[1M, 2M] \text{ Hz}$ pour gérer des utilisateurs désirant réaliser des transmissions DBSP. la fréquence maximale des modulateurs est fixée à 250 kHz . Combien d'utilisateurs pourra-t-on gérer dans cette bande sachant qu'on doit prévoir un intervalle fréquentiel de garde de largeur 200 kHz , entre les canaux radio voisins ?



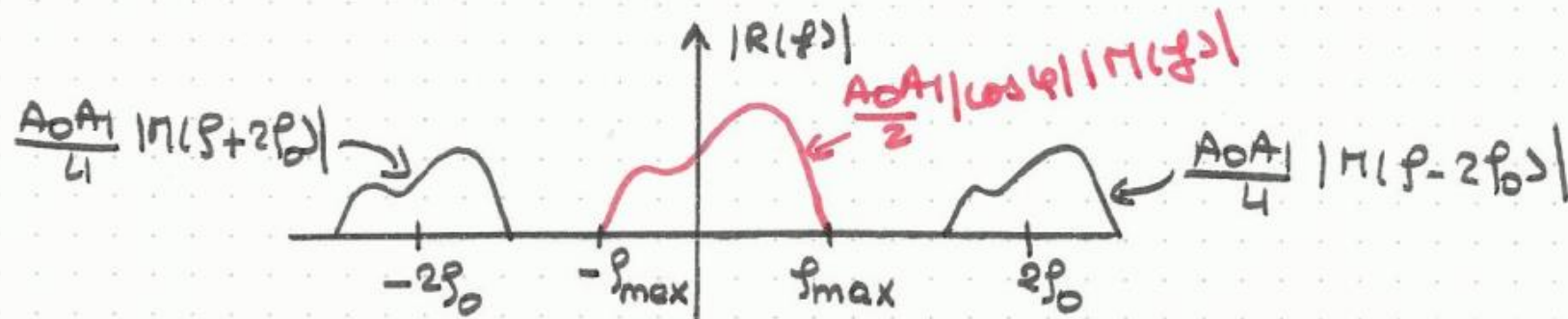
$$\text{largeur de bande} = 1M \text{ Hz} = N \cdot B + (N-1) I_G$$

Exercice : Démodulation incohérente de la DBSP



$$\begin{aligned}
 r(t) &= A_1 \cos(2\pi f_0 t + \varphi) \cdot A_0 m(t) \cos(2\pi f_0 t) \\
 &= \frac{A_0 A_1}{2} m(t) (\cos(4\pi f_0 t + \varphi) + \cos(\varphi)) \\
 \text{TF} \downarrow &= \frac{A_0 A_1}{2} \cos(\varphi) m(t) + \frac{A_0 A_1}{2} m(t) \cos(4\pi f_0 t + \varphi) \\
 R(f) &= \frac{A_0 A_1}{2} \cos(\varphi) \Pi(f) + \frac{A_0 A_1}{4} [e^{j\varphi} \Pi(f - 2f_0) + e^{-j\varphi} \Pi(f + 2f_0)]
 \end{aligned}$$

Exercice : Démodulation incohérente de la DBSP



après filtrage passe-bas à $f_c = f_{max}$, on récupère un signal

TF⁻¹ ↪

$$S_{\text{demod}}(f) = R(f) \cdot H(f) = \frac{A_0 A_1}{2} \cos \psi \cdot M(f)$$

$$s_{\text{demod}}(t) = \frac{A_0 A_1}{2} \cos \psi \cdot m(t) = C \cdot m(t)$$

→ l'opération de démodulation est assurée.

Pb si $\psi \sim \pi/2$, atténuation du signal

2. Modulation Double Bande Avec Porteuse (DBAP)

le signal module' selon la Double Bande Avec Porteuse (DBAP) s'écrit

$$s_{DBAP}(t) = A_0(1 + k_a m(t)) \cos(2\pi f_0 t)$$

k_a = constante de modulation dont on fait le réglage $|k_a m(t)| < 1$

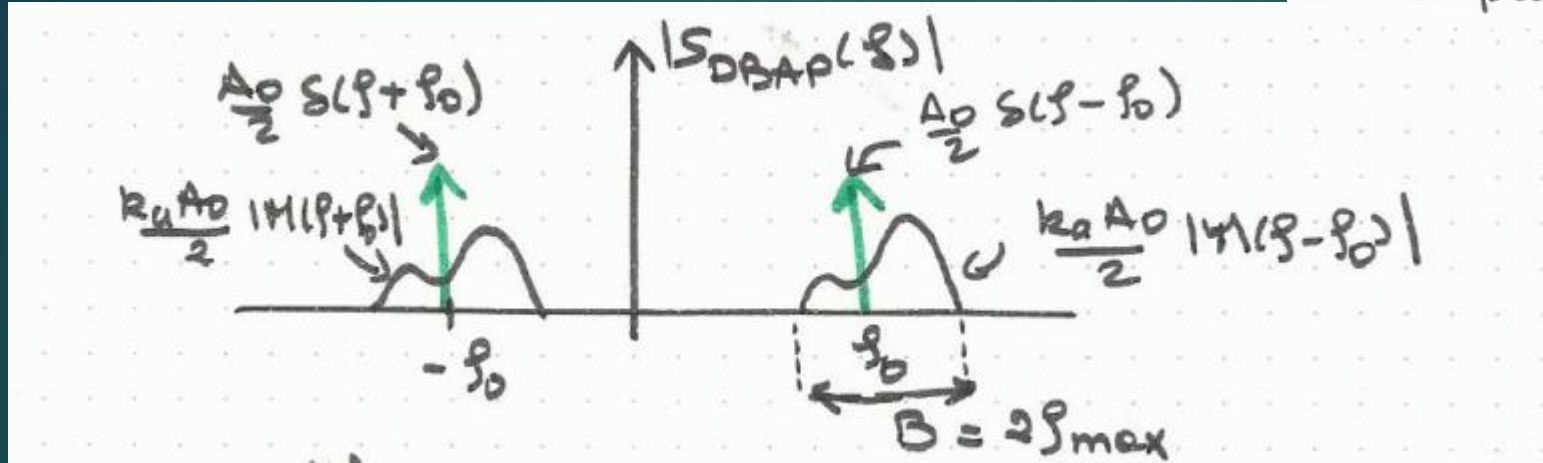
$$s_{DBAP}(t) = A_0 \cos(2\pi f_0 t) + \underbrace{k_a A_0 \cos(2\pi f_0 t) m(t)}_{s_{DBSP}(t)}$$

↓ TF

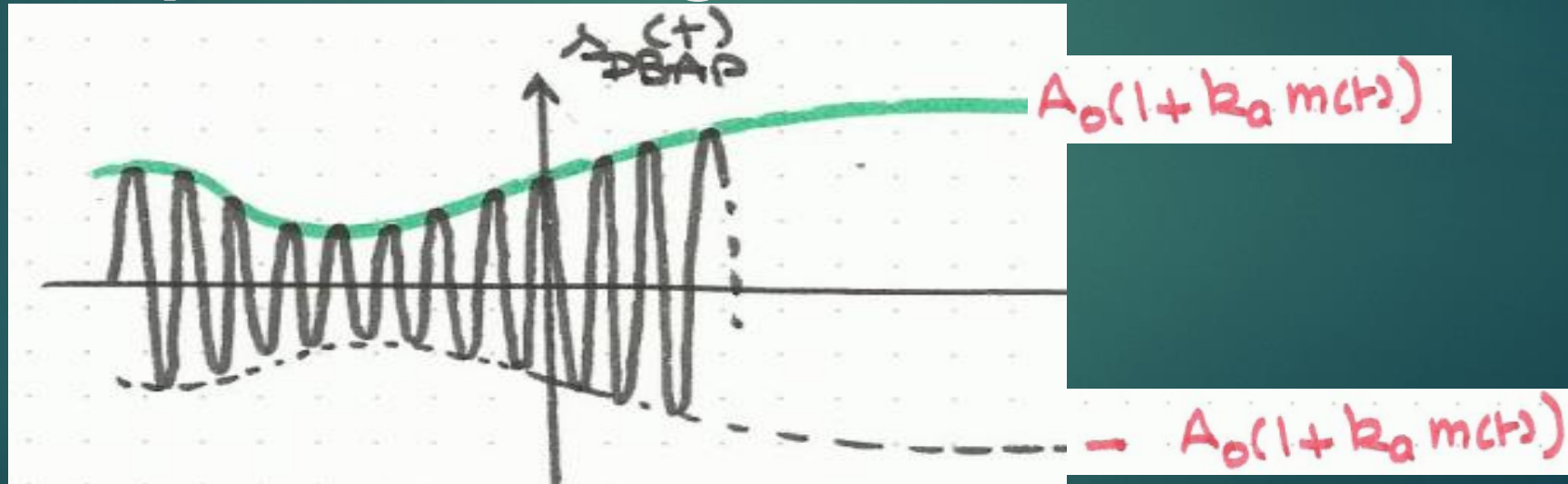
$$S_{DBAP}(f) = \frac{A_0}{2} (\delta(f - f_0) + \delta(f + f_0)) + \frac{k A_0}{2} (\pi(f - f_0) + \pi(f + f_0))$$

Spectre du signal DBAP

à occupation spectrale que la DBSP.



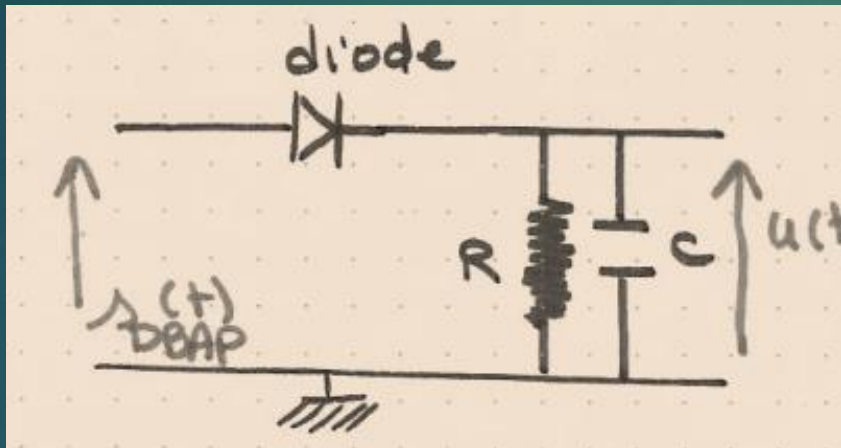
Allure temporelle du signal DBAP



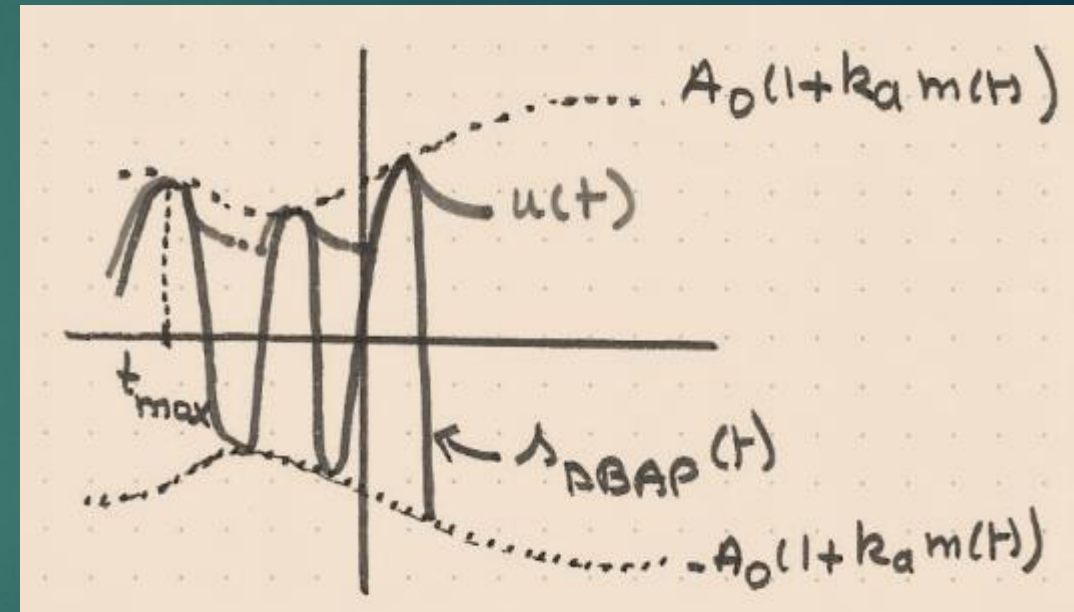
enveloppe de $s_{DBAP}(t) = A_0(1 + k_a m(t))$

Démodulation du signal DBAP

1^{er} dée' si on applique un détecteur d'enveloppe
à $s_{DBAP}(t) \Rightarrow$ on récupère $A_0(1+k_a m(t))$ donc
on récupère le modulant à une cte près.



- Initialement déchargé, $u(t)$ commence à croître comme $s_{DBAP}(t)$.
 - jusqu'à t_{max} où $s_{DBAP}(t)$ devient plus petit que $u(t)$.
 - Commence la décharge du Condensateur en $e^{-t/RC}$.
 - jusqu'à l'instant où $s_{DBAP}(t)$ recommence à dépasser $u(t)$.
- \Rightarrow la courbe $u(t)$ approche donc $A_0(1+k_a m(t))$.



Intérêt de la modulation DBAP par rapport à la DBSP

Intérêt de la mod. DBAP: peu % à la DBSP: pas besoin de faire une démodulation cohérente, une simple détection d'enveloppe suffit.