

# MODULATION - DÉMODULATION

PSI\*

Lycée Kléber

Marc Venturi

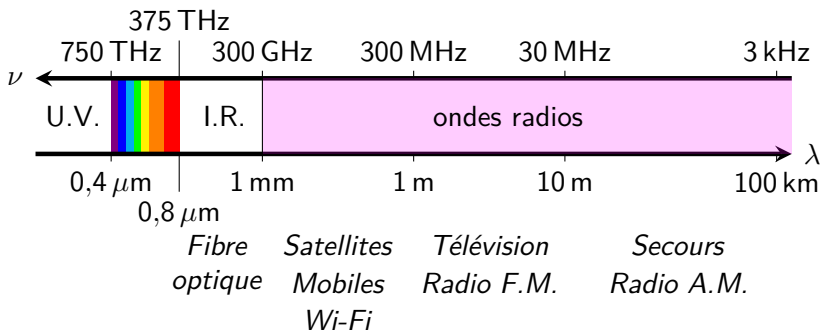


- 1 Intérêts de la modulation
- 2 Principes de la modulation
- 3 Modulation d'amplitude
- 4 Démodulation d'amplitude

# Sommaire

- 1 Intérêts de la modulation
- 2 Principes de la modulation
- 3 Modulation d'amplitude
- 4 Démodulation d'amplitude

# Spectre électromagnétique (partiel)



## Rôle de la modulation des signaux

Les signaux informatifs<sup>1</sup> sont rarement, voire jamais, transmis directement.

Il y a de nombreux inconvénients, par exemple pour un signal hertzien représentant la voix (entre 20 Hz et 20 kHz) :

- mélange irréversible des signaux de plusieurs sources ;
- antennes gigantesques à ces fréquences ;
- antennes peu puissantes à ces fréquences, donc faible portée.

→ approche documentaire.

# Signal informatif

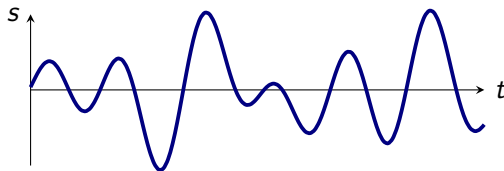
Le signal informatif sera noté  $s(t)$ . Il peut s'agir d'un signal analogique ou numérique.

Il représente et contient l'information à transmettre.

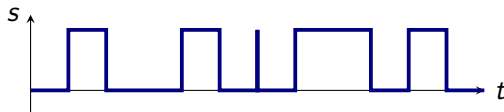
# Signal informatif

Exemples :

- le signal analogique d'une voix, d'un morceau de musique ;



- le signal numérique envoyé ou reçu par un téléphone portable.

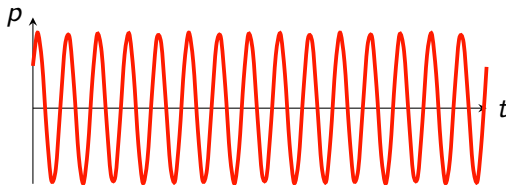


# Signal porteur

En plus du signal à transmettre, la modulation nécessite un signal porteur  $p(t)$ , appelé aussi **porteuse**.

La porteuse est un signal **harmonique** :

$$p(t) = A_p \cos(\omega_p t + \varphi_p).$$





# Sommaire

- 1 Intérêts de la modulation
- 2 Principes de la modulation**
- 3 Modulation d'amplitude
- 4 Démodulation d'amplitude

## But de la modulation

Le signal informatif  $s$  et la porteuse  $p$  sont combinées en un signal  $s_m$  pour profiter :

- de la haute fréquence de la porteuse, nécessaire à la transmission ;
- de l'identification de l'émetteur grâce à la fréquence, propre à l'émetteur, de la porteuse.

On dit que le signal informatif ou signal **modulant**  $s$  **module** la porteuse  $p$ . Le signal obtenu est le **signal modulé**  $s_m$ .

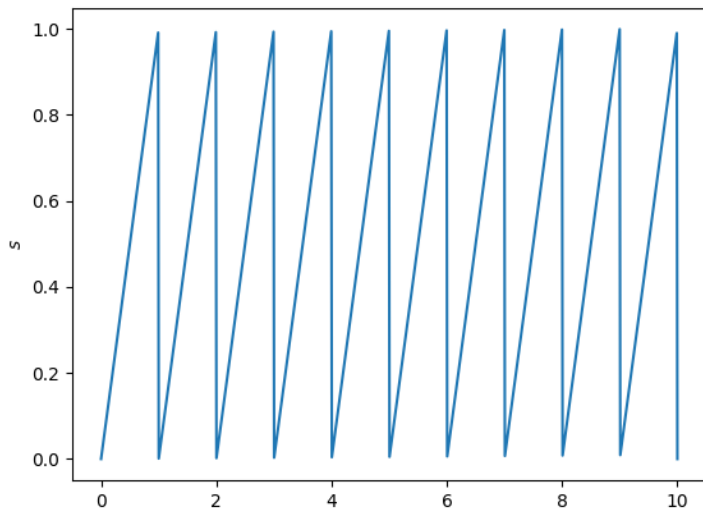
# Types de modulation

## Modulation d'amplitude

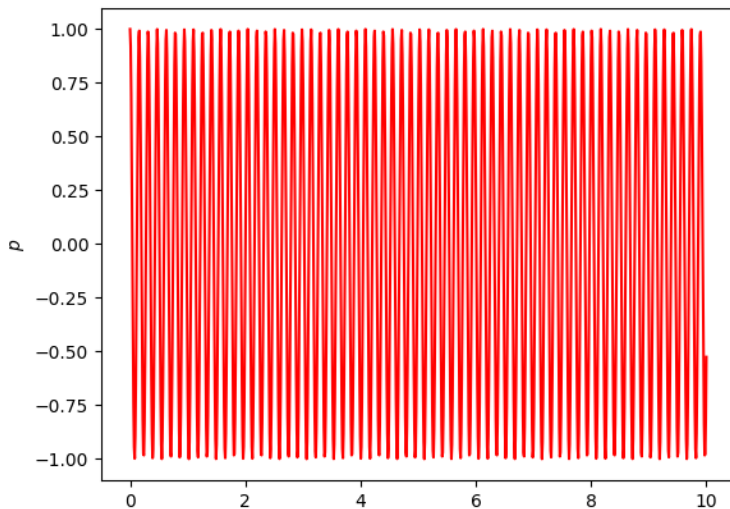
Le modulant  $s$  modifie l'**amplitude** de la porteuse  $p$  :

$$s_m = \underbrace{A_0 (1 + \alpha s(t))}_{\text{amplitude } A(t)} \cos(\omega_p t + \varphi_p).$$

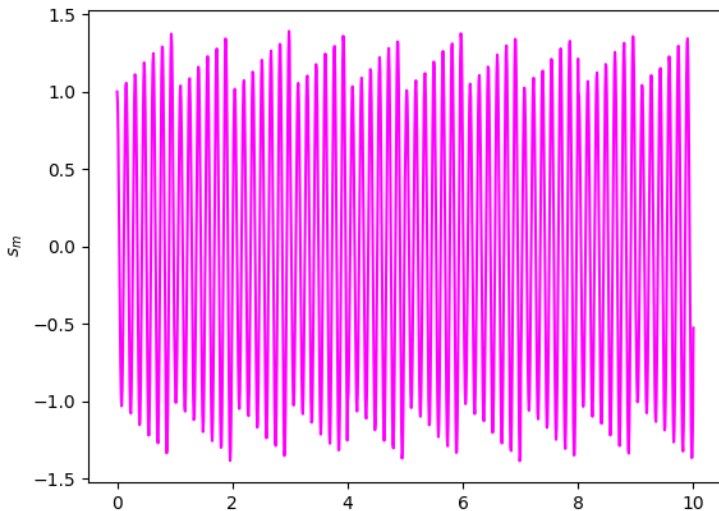
# Types de modulation



# Types de modulation



# Types de modulation



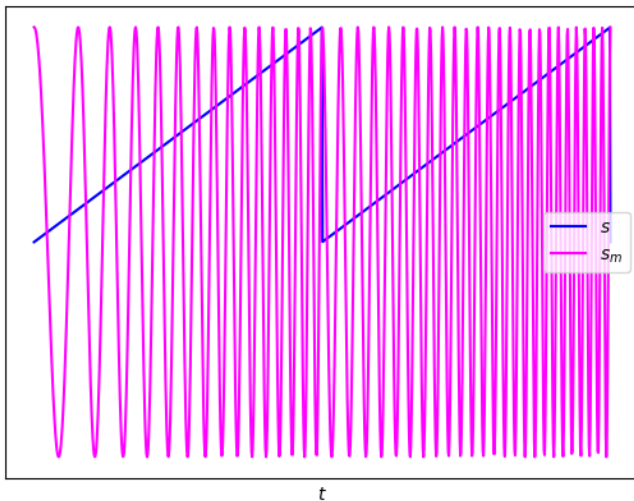
# Types de modulation

## Modulation de fréquence

Le modulant  $s$  modifie **la fréquence** de la porteuse  $p$  :

$$s_m = A_p (1 + \alpha s(t)) \cos \left[ \underbrace{\omega_p (1 + \alpha s(t)) t}_{\text{pulsation } \omega(t)} + \varphi_p \right].$$

# Types de modulation





## Types de modulation

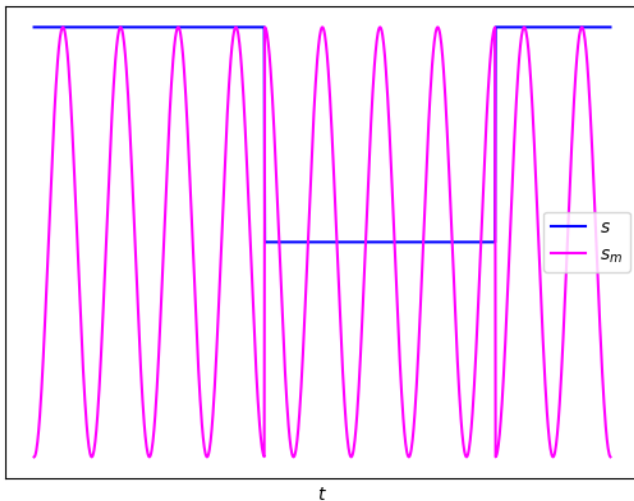
### Modulation de phase

Le modulant  $s$  modifie **la phase** de la porteuse  $p$  :

$$s_m = A_p \cos \left[ \omega_p t + \underbrace{\varphi_p + \pi s(t)}_{\text{phase } \varphi(t)} \right].$$

Cette modulation est adaptée aux signaux numériques, suites de 0 et de 1.

# Types de modulation



# Sommaire

- 1 Intérêts de la modulation
- 2 Principes de la modulation
- 3 Modulation d'amplitude**
- 4 Démodulation d'amplitude

# Réalisation

## But

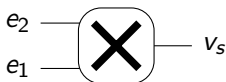
À partir des signaux :

$$\begin{cases} s(t) \\ p(t) = A_p \cos(\omega_p t + \varphi_p) \end{cases}$$

on veut obtenir :

$$s_m(t) = A_p (1 + \alpha s(t)) \cos(\omega_p t + \varphi_p).$$

## Réalisation

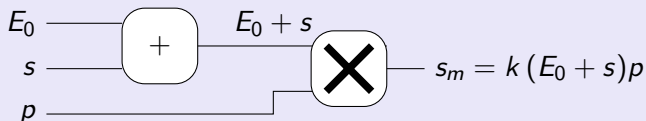


$$v_s = k e_1 e_2$$

- Le multiplieur est un circuit intégré actif (plusieurs multiplieurs sont gravés sur une même puce).
- Les deux entrées présentent une impédance d'entrée forte, idéalisée par une valeur infinie, et une impédance de sortie faible, modélisée par une valeur nulle.
- On ne représente sur le schéma que les deux entrées et la sortie.
- Un multiplieur est caractérisé par une constante notée  $k$ , homogène à l'inverse d'une tension. Exemple :  $k = 0,1 \text{ V}^{-1}$ .

# Réalisation

## Schéma fonctionnel

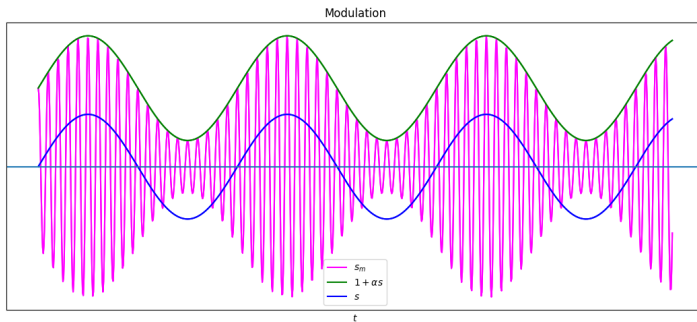


Le premier opérateur est un **sommeur**. Il a pour fonction de décaler le signal modulant  $s$  de la valeur  $E_0$ . On choisit  $E_0 > 0$ .  
Le signal de sortie du système est :

$$\begin{aligned} s_m(t) &= kA_p(E_0 + s(t)) \cos(\omega_p t + \varphi_p) \\ &= kA_p E_0 (1 + \alpha s(t)) \cos(\omega_p t + \varphi_p) \end{aligned}$$

# Réalisation

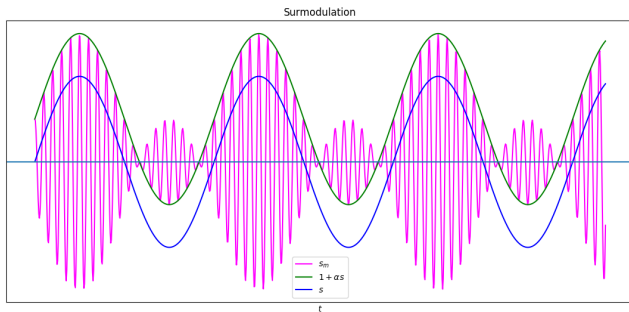
Une bonne modulation permet d'obtenir un signal reflétant le signal d'origine :



# Réalisation

## Surmodulation

Le choix de  $\alpha = 1/E_0$ , donc de  $E_0$ , est réalisé afin d'éviter le phénomène de surmodulation.





# Réalisation

## Surmodulation

Pour éviter la surmodulation, il faut que l'amplitude du signal modulé  $s_m$  reste positive :

$$1 + \alpha s(t) > 0 \quad \forall t.$$

En pratique, la constante  $\alpha$  doit être suffisamment petite.

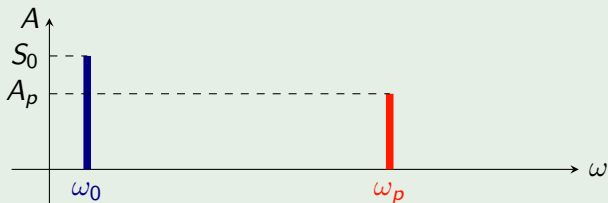
Remarque : la surmodulation n'est pas toujours un problème, notamment pour les démodulateurs récents.

# Spectre du signal modulé

## Signal modulant harmonique

Spectres des signaux modulant  $s(t)$  et de la porteuse  $p(t)$ .

$$s(t) = S_0 \cos(\omega_0 t).$$



## Spectre du signal modulé

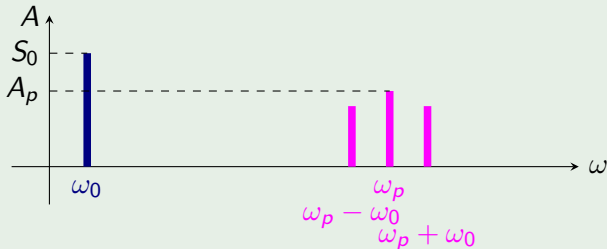
### Signal modulant harmonique

Signal modulé  $s_m(t) = A_p(1 + \alpha s(t)) \cos(\omega_p t + \varphi_p)$ .

$$\begin{aligned} s_m(t) &= A_p(1 + \alpha S_0 \cos(\omega_0 t)) \cos(\omega_p t + \varphi_p) \\ &= A_p \cos(\omega_p t + \varphi_p) + \alpha A_p S_0 \cos(\omega_0 t) \cos(\omega_p t + \varphi_p) \\ &= A_p \cos(\omega_p t + \varphi_p) + \frac{1}{2} \alpha A_p S_0 [\cos((\omega_p + \omega_0)t + \varphi_p) \\ &\quad + \cos((\omega_p - \omega_0)t + \varphi_p)]. \end{aligned}$$

## Spectre du signal modulé

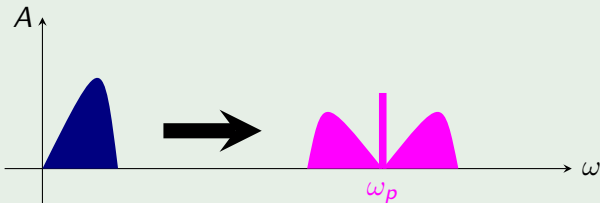
### Signal modulant harmonique



Le spectre est **symétrique** par rapport à la pulsation de la porteuse. Il y a deux bandes latérales.

# Spectre du signal modulé

Signal modulant quelconque

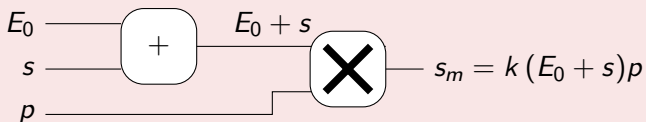


## Spectre du signal modulé

### Important !

La modulation d'amplitude modifie le spectre du signal en créant **de nouvelles fréquences** ( $\omega_p + \omega$  et  $\omega_p - \omega$ ).

Cela n'est possible qu'en utilisant un système électronique **non linéaire**.



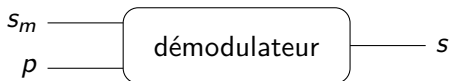
Où se situe l'élément non linéaire ?

# Sommaire

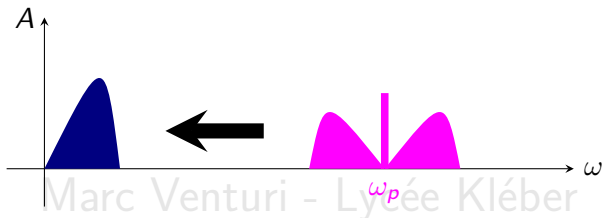
- 1 Intérêts de la modulation
- 2 Principes de la modulation
- 3 Modulation d'amplitude
- 4 Démodulation d'amplitude**

## Nécessité d'une non linéarité

La démodulation (d'amplitude) consiste à retrouver le signal informatif  $s(t)$  à partir du signal modulé  $s_m(t)$  et, éventuellement, de la porteuse.



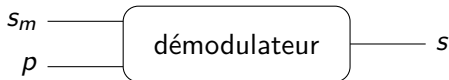
Le spectre du signal  $s$  n'est pas contenue dans les spectres des signaux d'entrée.



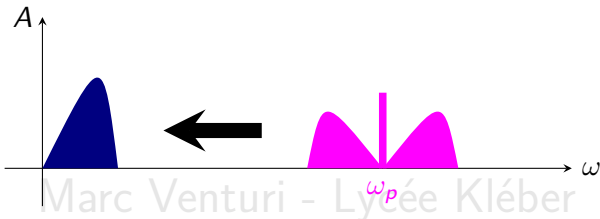


## Nécessité d'une non linéarité

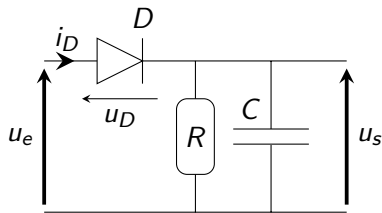
La démodulation (d'amplitude) consiste à retrouver le signal informatif  $s(t)$  à partir du signal modulé  $s_m(t)$  et, éventuellement, de la porteuse.



Il est donc indispensable que le démodulateur contienne au moins un élément **non linéaire**.



# Détecteur de crête



La diode est un interrupteur commandé :

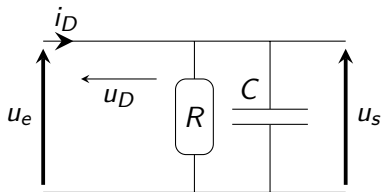
- en courant pour l'ouverture :

$i_D > 0$  passe par 0  $\Rightarrow$

- en tension pour la fermeture :

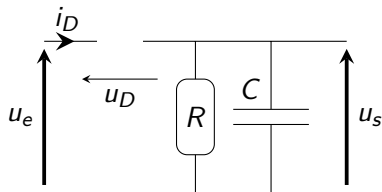
$u_D < 0$  passe par 0  $\Rightarrow$

# Détecteur de crête



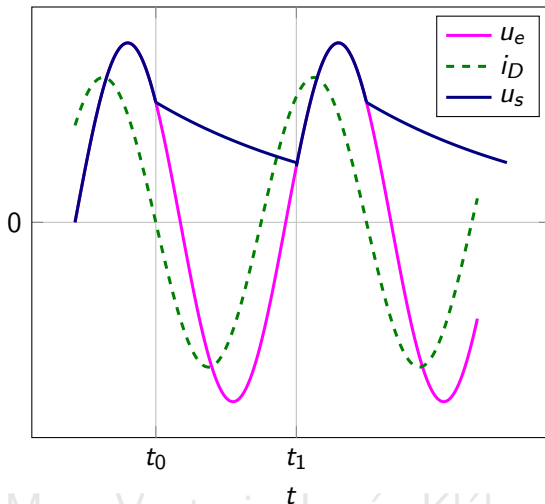
La diode est passante :  $u_s = u_e$  et  $i_D = \frac{u_e}{R} + C \frac{du_e}{dt} > 0$ .

# Détecteur de crête

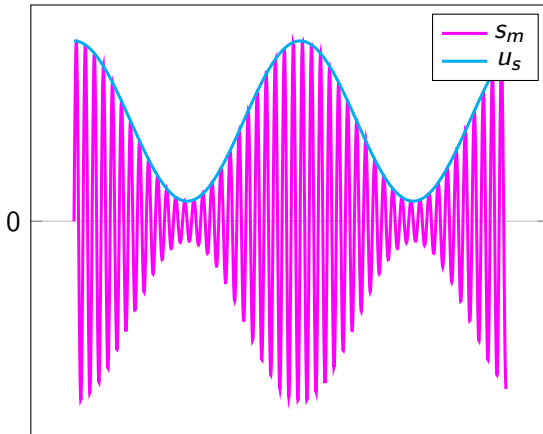


La diode est bloquée :  $u_s(t) = u_s(t_0) \exp\left(-\frac{t - t_0}{RC}\right)$  et  $u_s > u_e$ .

# Détecteur de crête

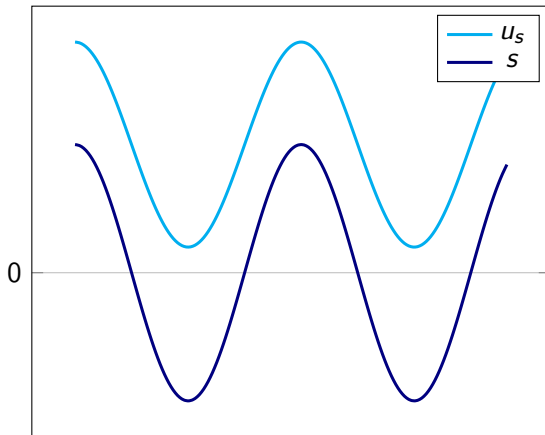


# Détecteur de crête



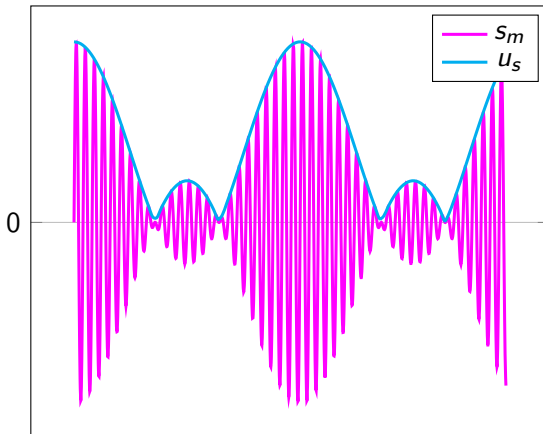
## Détecteur de crête

Enfin, un passe-haut de très faible fréquence de coupure permet d'aboutir au signal informatif  $s$ .



# Détecteur de crête

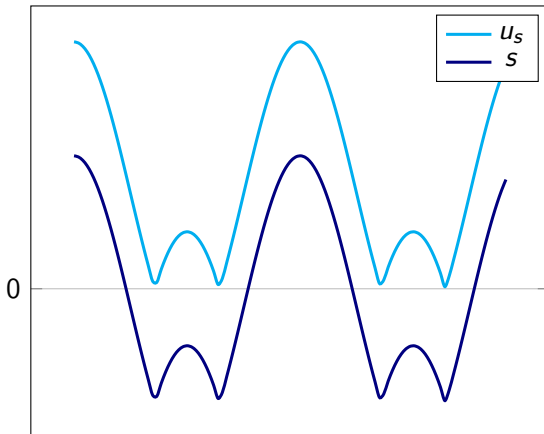
Ce démodulateur est sensible à la surmodulation !





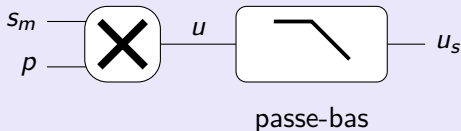
# Détecteur de crête

Ce démodulateur est sensible à la surmodulation !



# Détection synchrone

## Schéma fonctionnel



Analyse :

$$p(t) = A'_p \cos(\omega_p t + \varphi_p)$$

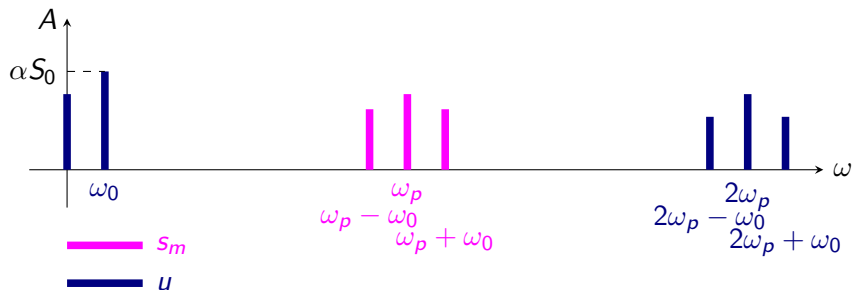
$$s_m(t) = A_p \cos(\omega_p t + \varphi_p) + \frac{1}{2} \alpha A_p S_0 [\cos((\omega_p + \omega_0)t + \varphi_p) + \cos((\omega_p - \omega_0)t + \varphi_p)].$$

# Détection synchrone

$$\begin{aligned}
 u(t) &= \frac{1}{2} k A'_p A_p \left\{ 1 + \cos(2\omega_p t + 2\varphi_p) \right. \\
 &\quad + \frac{1}{2} \alpha S_0 [\cos(\omega_0 t) + \cos((2\omega_p + \omega_0)t + 2\varphi_p) \\
 &\quad \quad \quad \left. + \cos(\omega_0 t) + \cos((2\omega_p - \omega_0)t + 2\varphi_p)] \right\} \\
 &= \frac{1}{2} k A'_p A_p \left\{ 1 + \alpha S_0 \cos(\omega_0 t) + \cos(2\omega_p t + 2\varphi_p) \right. \\
 &\quad + \frac{1}{2} \alpha S_0 \cos((2\omega_p + \omega_0)t + 2\varphi_p) \\
 &\quad \left. + \frac{1}{2} \alpha S_0 \cos((2\omega_p - \omega_0)t + 2\varphi_p) \right\}.
 \end{aligned}$$

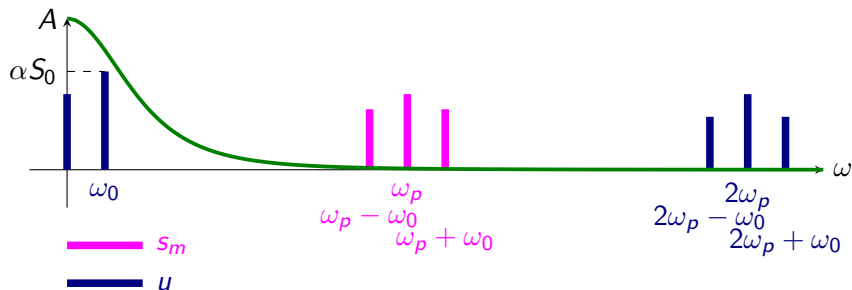
# Détection synchrone

## Spectres



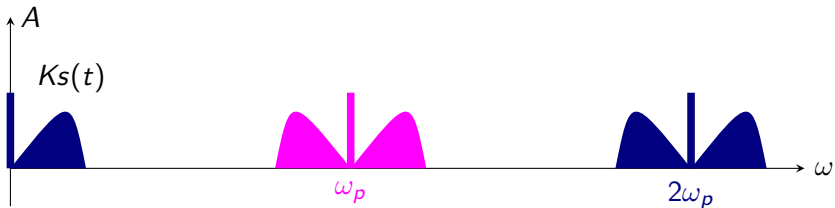
# Détection synchrone

Rôle du passe-bas



# Détection synchrone

Spectre quelconque



**Remarque** : la démodulation synchrone n'est pas sensible à la surmodulation.