



## → Nécessité de la modulation

- ondes transmises via antennes de taille  $\approx \lambda$  pour avoir une bonne puissance d'émission et de réception.
- Donc nécessité  $\nearrow$  la fréq. pour avoir des antennes de taille raisonnable.
- Éviter le mélange des signaux utiles (bande, canaux de fréq.)
- Éviter tjc le 50 Hz industriel.

On appelle  $m(t)$  le message à transporter  $\rightarrow$  utile

$\hookrightarrow$  module à l'émission,  
 $\hookrightarrow$  démodule à la récep<sup>e</sup>

avec des opérateurs non-linéaire

$\hookrightarrow$  extension et enrichissem<sup>t</sup> du spectre

## I / Modulation :

### 1) $\neq$ types de modula<sup>o</sup> :

- signal porteur : porteuse qui est le signal modulé :

$$\varphi(t) = A_p \cos(\omega_p t + \varphi_p)$$

$\hookrightarrow$  signal hte fréq (fabriqué avec un oscillateur très stable)

- signal modulant = le message  $m(t)$ :  
On fait varier l'amplitude ou la phase  $\left\{ \begin{array}{l} \text{fréq} \\ \text{déphasage } \varphi \end{array} \right.$   
au rythme du message.

→ modulation d'amplitude:

l'amplitude du signal varie avec  $m(t)$ .

→ modulation angulaire:

↳ modula<sup>o</sup> de fréquence  $\Rightarrow$  la fréq. instantanée  $f(t)$  varie linéairement avec le message.

↳ modula<sup>o</sup> de phase (déphasage)  $\Rightarrow \varphi$  varie linéairement avec  $m(t)$

$$(\text{signal } s(t) \propto \cos(\underbrace{\omega_p t + \varphi}_{\varphi \text{ la phase}}))$$

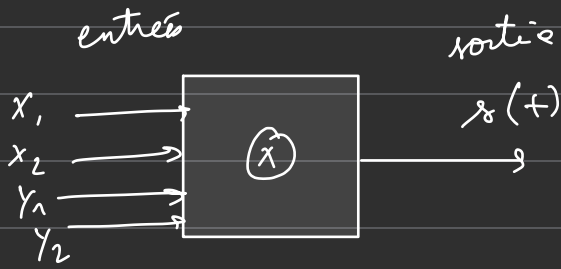
## 2) Modula<sup>o</sup> d'amplitude:

a) réalisat<sup>o</sup> pratique: utilisat<sup>o</sup> d'un multiplieur:

→ Déf de AM (modula<sup>o</sup> d'amplitude)

signal modulé en amplitude = produit d'un signal message  
(de fréq. proche de  $\omega_m$ ) par une porteuse de fréq. élevée  
est unique  $\Rightarrow \omega_p \gg \omega_m$

→ Modula<sup>e</sup> des signaux :



$$s = k \times (x_1 - x_2)(y_1 - y_2)$$

$$\begin{cases} x_1 = m(t) \rightarrow \text{message} \\ x_2 = \text{offset sur le message (pas obligatoire)} = A_0 \\ y_1 = p(t) \rightarrow \text{porteuse} \\ y_2 = 0 \rightarrow \text{à la masse} \end{cases}$$

Rq) . ampli. de sortie limitée par l'alim → satura<sup>e</sup>

$$V_{\text{max}} \approx 10V \Rightarrow k \approx 0,1V^{-1} \text{ en pratique}$$

• limita<sup>e</sup> de la BP → 100 kHz au labo.

Considérons donc un 1<sup>er</sup> tps un message composé d'1 seule fréq.

$$\Rightarrow m(t) = A_m \cos(\omega_m t)$$

$$\begin{aligned} s(t) &= k(m(t) + A_0)p(t) \\ &= k(A_m \cos(\omega_m t) + A_0)A_p \cos \omega_p t \\ &= kA_p A_0 (1 + m \cos \omega_m t) \cos \omega_p t \end{aligned}$$

$$s(t) = \underbrace{S_0 (1 + m \cos \omega_m t)}_{\text{amplitude du signal}} \cos \omega_p t$$

amplitude  
du signal

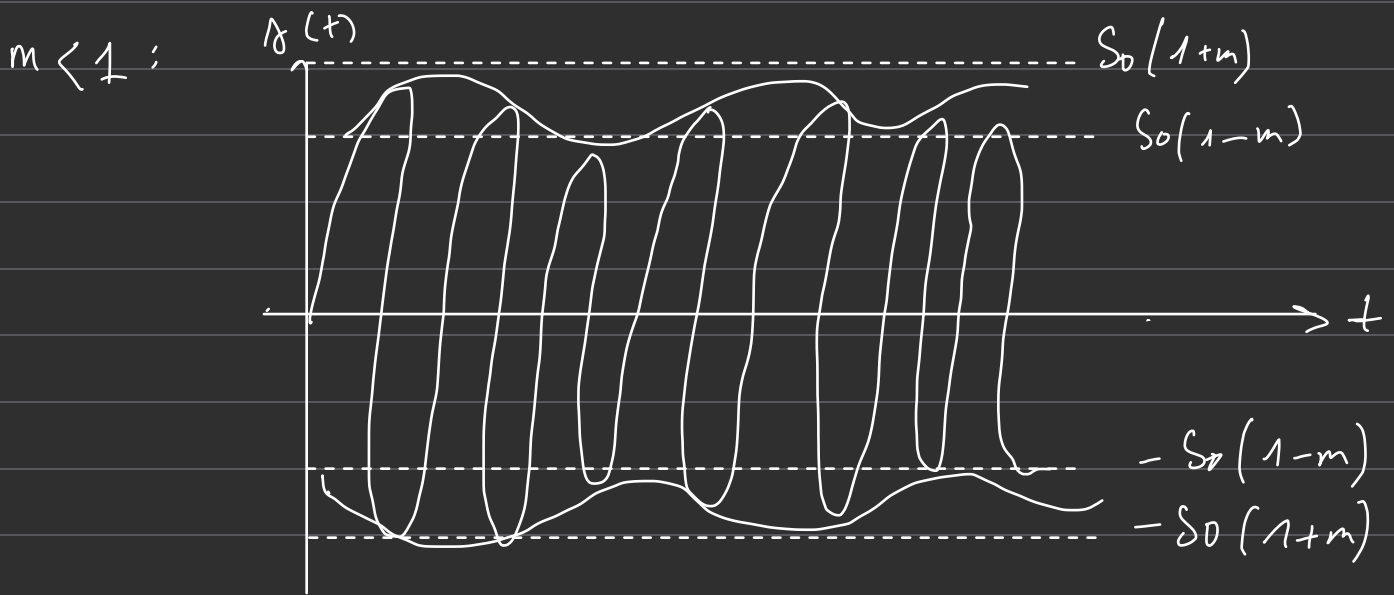
↳ forme canonique

$$\text{avec } S_0 = k A_p A_0$$

$$\text{et } m = \frac{A_m}{A_0}$$

On retrouve un signal porteur (fréq. rapide) dont l'amplitude est modulée par le message.

Rq) Si offset =  $A_0 = 0 \Rightarrow$  modulation à porteur supprimés (pas de signal à la fréq.  $\omega_c$ )

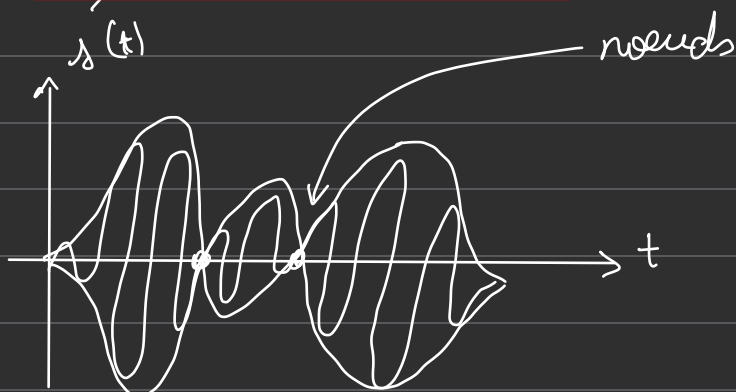


l'Enveloppe:  $= \pm S_0 (1 + m \cos \omega_m t)$

b) Profondeur de modulation ou taux de modulation =  $m$

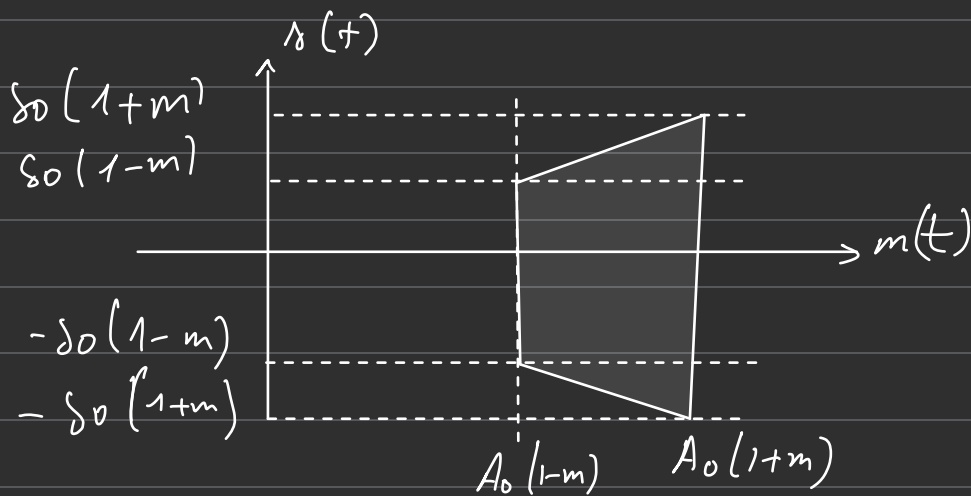
•  $m < 1 =$  modulation

•  $m > 1 =$  surmodulation



⇒ Méthode de mesure de m:

↳ en représentation X-Y  
 $s(t)$  en f° de  $m(t)$



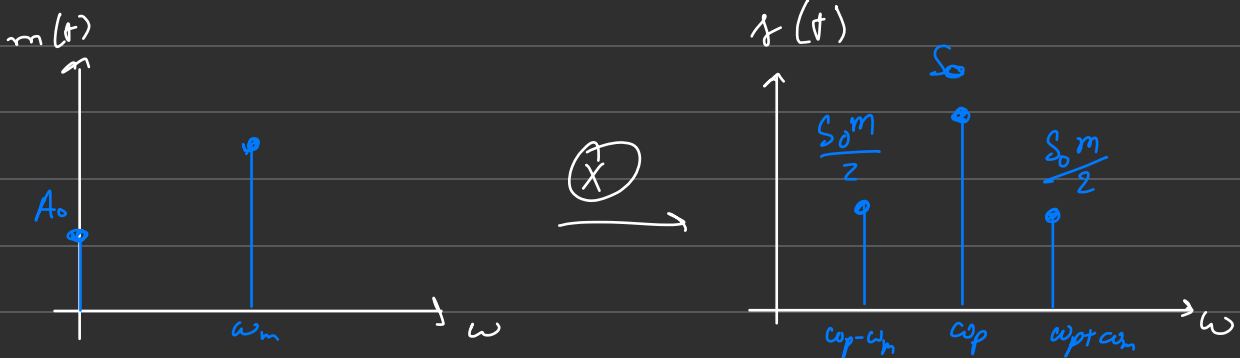
c) Contenu spectral:

$$s(t) = S_0(1 + m \cos \omega_m t) \cos \omega_p t$$

avec  $m(t) = A_m \cos \omega_m t$

$$s(t) = S_0 \cos \omega_p t + \frac{1}{2} m S_0 \cos(\omega_p - \omega_m) t + \frac{1}{2} m S_0 \cos(\omega_p + \omega_m) t$$

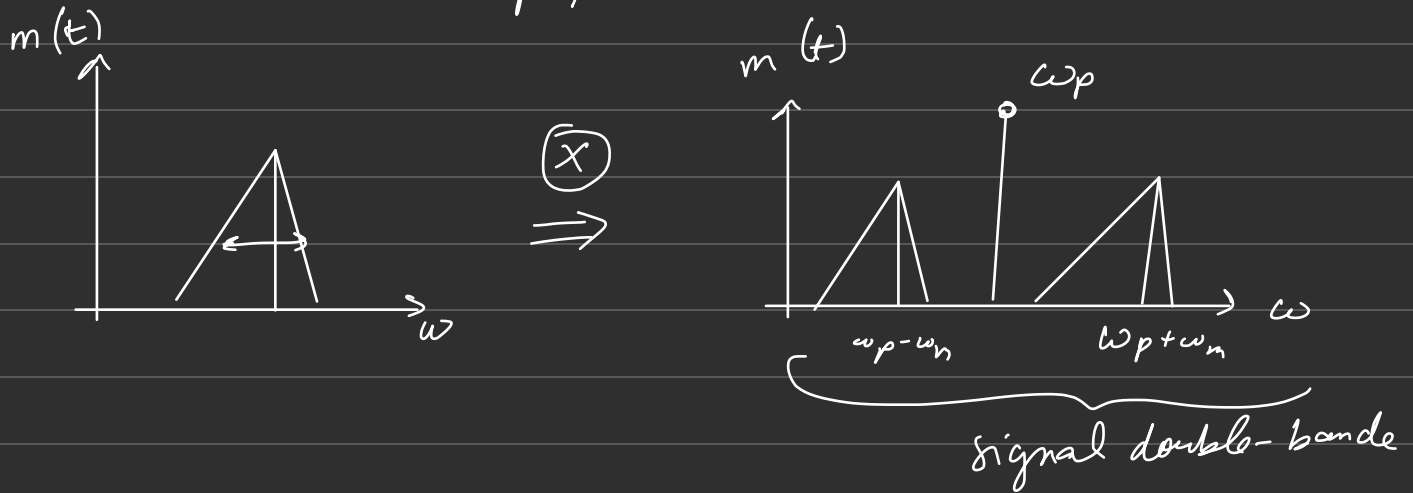
Spectre:



Il y a translation du spectre par  $\otimes$  des signaux

Retenir  $\Rightarrow$  les fréq. sont toutes très élevées et proche de la porteur.

En réalité bande de fréq. utiles autour de  $\omega_m$  pour le message :



On peut supprimer la porteuse (effet nul), ou une des deux bandes pour  $\downarrow$  l'encombrement spectral.

### 3) Modulation de fréq. FM :

$$s(t) = A \cos(2\pi f(t) + \varphi)$$

avec  $f(t) = f_p + k_m m(t)$

$\hookrightarrow$  modula<sup>e</sup> linéaire de la fréq. de la porteuse avec le message.

Rq) Modula<sup>e</sup> de phase:

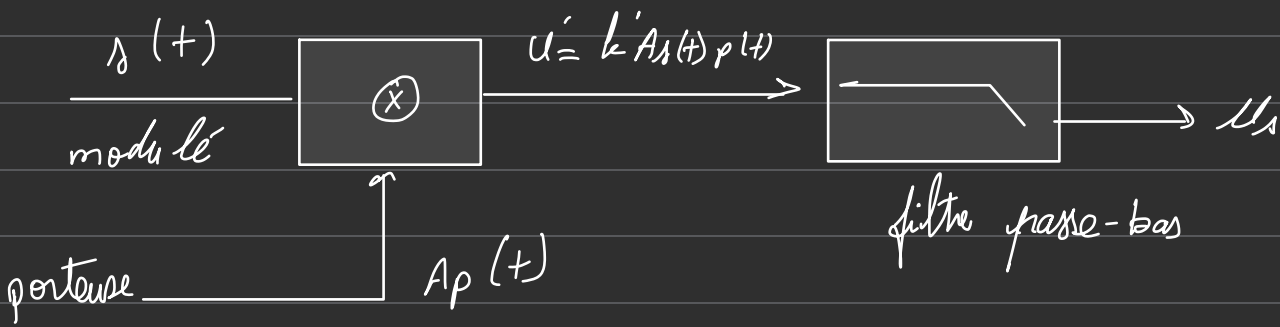
$$\phi = \omega t + \varphi$$

$$\text{et } \omega = 2\pi f = \frac{d\phi}{dt}$$

## II / Démodulation :

### 1) Modula<sup>e</sup> par détection synchrone :

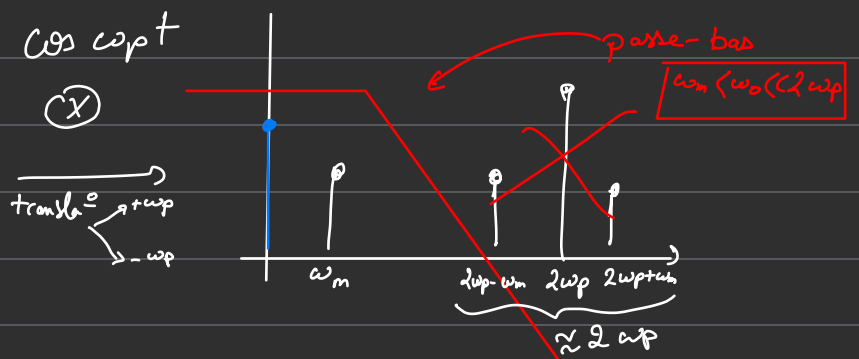
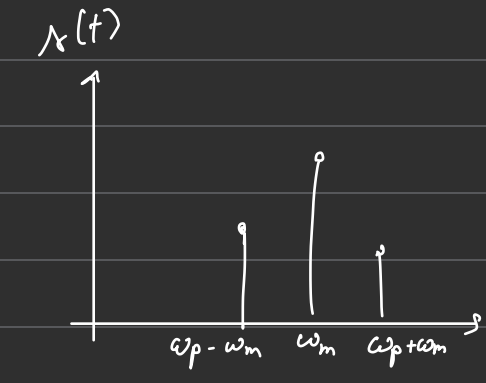
Le signal est  $\otimes$  par un signal synchrone avec la porteuse  $\rightarrow$  m phase ( $\rightarrow$  freq) ( $\rightarrow \varphi=0$ ), puis soumis à un filtre passe-bas.



$$s(t) = S_0 (1 + m \cos \omega_m t) \cos \omega_p t$$

$$u'(t) = k' A A_p S_0 (1 + m \cos \omega_m t) \underbrace{\cos^2 \omega_p t}_{\frac{1}{2} (1 + \cos(2\omega_p t))}$$

$$u'(t) = \underbrace{\mu}_{\mu = \frac{k' A A_p S_0}{2}} (1 + m \cos \omega_m t + \frac{1}{2} m \cos(2\omega_p - \omega_m) t + \frac{1}{2} m \cos(2\omega_p + \omega_m) t + \cos(2\omega_p t))$$



En sortie  $\Rightarrow u_s = u [m \cos \omega_m t + 1]$

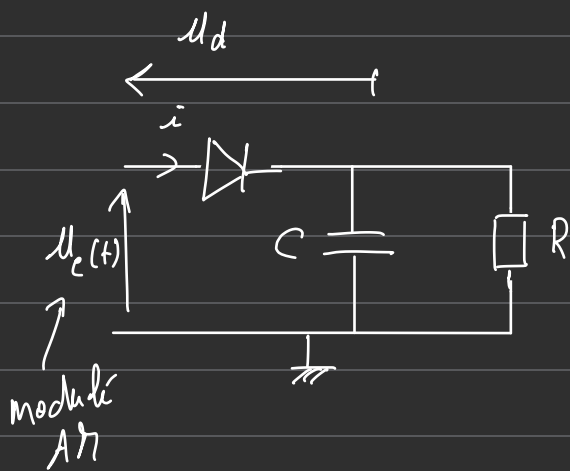
Rq) Pour supprimer la CC de  $u_s \rightarrow$  filtre passe-haut

• il faut d'abord récupérer la porteuse synchronisée avec  $\perp$  une boucle à verrouillage de phase!

## 2) Démodulation par détecteur de crête (d'enveloppe):

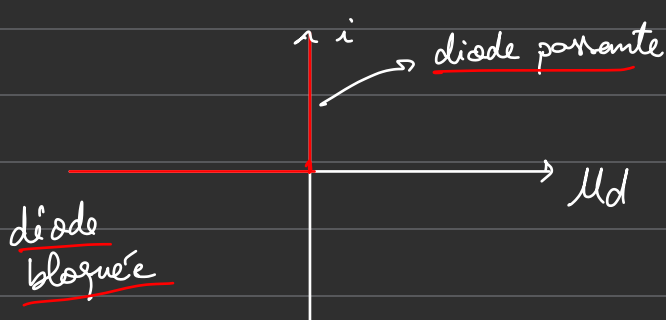
• But: suivre les varia<sup>e</sup> lentes du signal  $\rightarrow$  le message

$\rightarrow$  nécessité de bloquer et ensuite filtrer les varia<sup>e</sup> rapides de la porteuse



$$u_e(t) = A_e (1 + m \cos \omega_m t) \cos \omega_p t$$

Caractéristique d'une diode: (idéal)



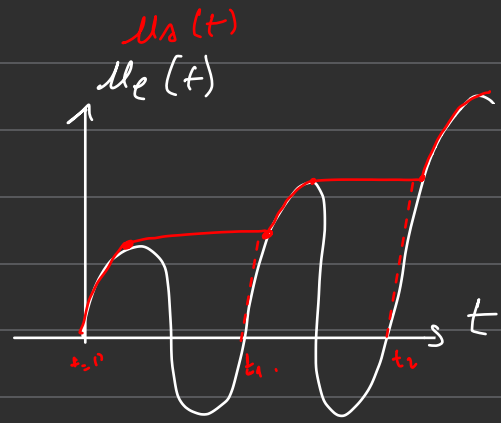
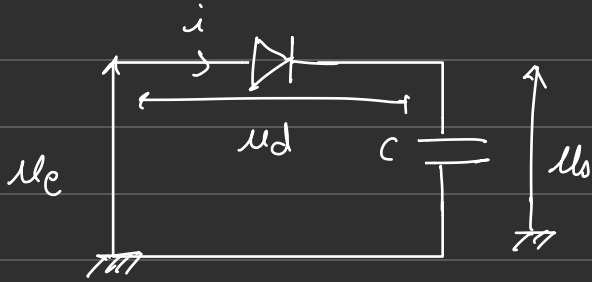
• diode passante:

$$\begin{matrix} u_d = 0 \\ i > 0 \end{matrix} \rightarrow \text{fil (court-circuit)}$$

• diode bloquée:

$$\begin{matrix} i = 0 \\ u_d < 0 \end{matrix} \rightarrow \text{---|---$$

Détecteur le + simple: avec  $R \rightarrow +\infty$



• Hypothèse: diode passante:

$$LDR \Rightarrow u_e = u_s + u_d = 0 \Rightarrow u_e = u_s$$

↳ la tension de sortie suit la tension d'entrée

Condi<sup>e</sup>  $\Rightarrow i > 0$ :

$$i = C \frac{du_s}{dt} = C \frac{du_e}{dt} > 0$$

donc  $\frac{du_e}{dt} > 0$

diode passante ssi  $u_e \nearrow$  au cours du temps

• Hypothèse: diode bloquée:

$$i = 0 \Rightarrow C \frac{du_s}{dt} = 0 \Rightarrow u_s \text{ est cst} \rightarrow \text{bloquée qd la diode est bloquée}$$

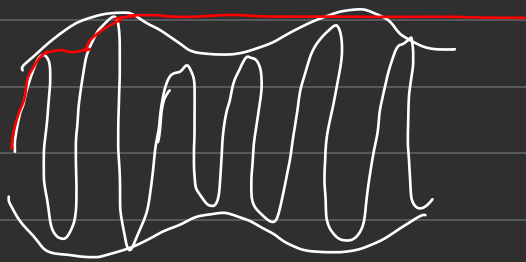
Condit<sup>e</sup> =  $u_d < 0$

$$u_e - u_s < 0 \Rightarrow u_e < u_s$$

Diode reste bloquée ssi  $u_e < u_s$

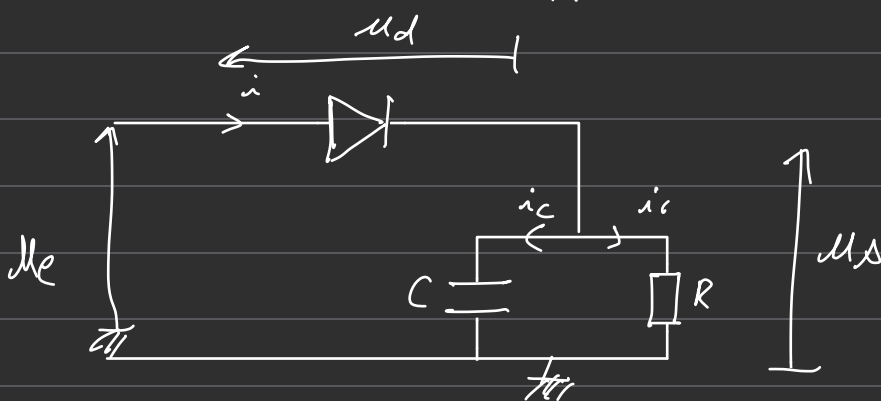
Pour  $t > 0$ , diode passante, en  $t_1$ , on bascule sur une diode bloquée, jusqu'en  $t_2$  ...

Pb = bloquée définitive au max de l'enveloppe;



Il faut permettre à la tension  $u_s$  de se piloter phase de blocage, i.e. décharger le condensateur et la tension est  $u_s$ !

Détecteur d'enveloppe réel:



o Phase diode passante:

$$t_{jr} \quad u_d = 0 \Rightarrow u_s = u_e$$

Condit<sup>o</sup>:

$$i = i_r + i_c \Rightarrow i = \frac{u_s}{R} + C \frac{du_s}{dt}$$

$$= \frac{du_s}{dt} + \frac{1}{\tau} u_s > 0$$

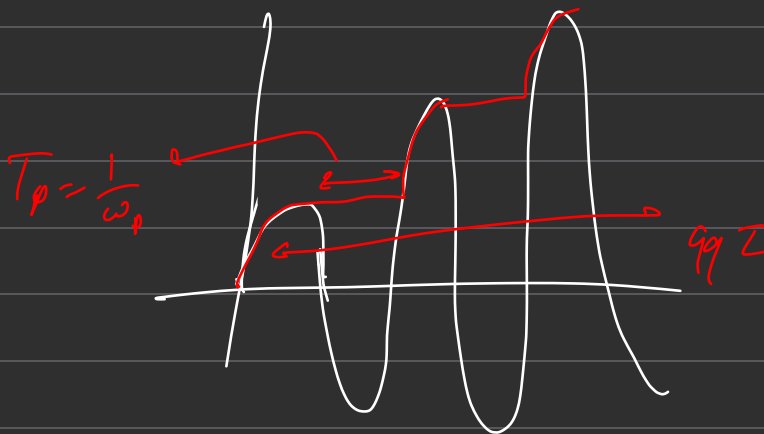
avec  $u_s > 0 \Rightarrow \frac{du_s}{dt} = \frac{du_e}{dt} > 0$ ,  $u_e \nearrow$  au cours du tps.  
 $\downarrow$   
 m'condi°

• Phase diode bloquée.

$$i=0 \Rightarrow \frac{du_s}{dt} + \frac{1}{\tau} u_s = 0$$

$u_s(t) = A e^{-t/\tau} \rightarrow u_s \searrow$  au cours des tps

(Condi° :  $u_d < 0$  avec  $u_d = u_e - u_s$  comme  $u_s > u_e$   
 pdt bloquée  $\rightarrow$  tjc valide



Condit° pour liées les variat° rapides de la portuse =

$$T_m \gg T_p$$

pour pouvoir suivre les variat° lentes du message (envlp)

le condensateur doit se charger suffisamment rapidement pour suivre les variat° de l'envlp.

Rge) le détecteurs d'enveloppe

