

Julie et Hélène
10/10/09.

MP. 26 : MISE EN FORTÉ, TRANSPORT
ET DETECTION DE L'INFORMATION

Rapports de jury:

- [2007]: Le montage n'est pas souvent clair et il est encore moins souvent réussi. Des manipulations simples de modulation et démodulation peuvent y être présentées.
- [2005]: Trop souvent, la modulation se limite à la seule modulation d'amplitude.

Biblio: - Duffaut elec. [1]
- Quant à IV (Atténuation). [2]

Plan:

- I - Transport d'un signal électrique par un câble coaxial.
- II - Modulation d'amplitude (AM)
 - II. 1. Modulation par un multiplieur analogique
 - II. 2 - Démodulation synchrone.
- III - Modulation de fréquence (FM).
 - III. 1 - Modulation par OCT
 - III. 2 - Démodulation par boucle à verrouillage de phase.
 - III. 2. a - Boucle à verrouillage de phase.
 - III. 2. b - démodulation

Intro: C1]

on s'intéresse dans ce montage à la transmission à distance d'une information, qu'on supposera représenté par un signal électrique $i(t)$.
Le transport de ce signal peut se faire suivant différents canaux selon la fréquence du signal:

- lignes électriques (0-1 GHz)
- support hertzien (1 Hz - 100 GHz)
- guides d'ondes (1 GHz - 100 GHz)
- fibres optiques ($\sim$ THz)

les problèmes que l'on a alors st que la fréquence du signal informatif ne correspond pas forcément à celle du canal de transmission choisi, que deux signaux de fréquences proches ne peuvent pas être transmis simultanément par le même canal (on risquerait de ne plus pouvoir les séparer à l'arrivée), et que certaines fréquences peuvent être très sensiblement atténuées durant le transport.

Pour palier à ces problèmes on utilise un autre signal ^(= porteuse) bien adapté au canal de transmission choisi et qui va transporter l'information. c'est la modulation. A l'extrémité du canal le signal modulé est traité pour en extraire l'information: c'est la démodulation.

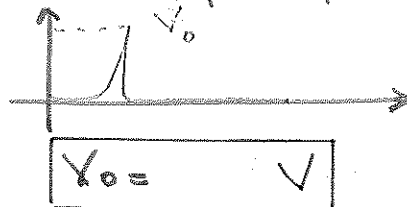
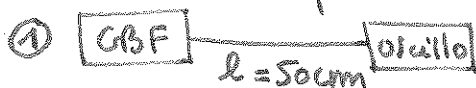
Nous allons dans ce montage nous intéresser principalement aux modulations / démodulations d'amplitude et de fréquence.

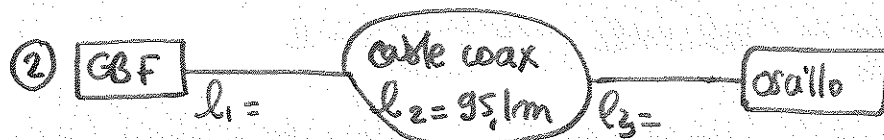
I - Transport d'un signal électrique par un câble coaxial. [2]

Pour illustrer la difficulté qu'on a à transmettre certains signaux, on va s'intéresser au problème simple de l'atténuation d'un signal électrique lors de son transport par un câble coaxial.

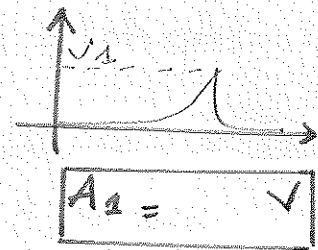
Rappel: câble coax = deux conducteurs cylindriques de m axe.
Conducteur intérieur $\rightarrow$ "âme".
Conducteur extérieur $\rightarrow$ "gaine".

Montage: on envoie un pulse de durée la + petite possible.





longueur totale de câble: $l = l_1 + l_2 + l_3 =$



on calcule l'atténuation du signal lors de son transport sur la longueur L de câble coax: $A = \frac{1}{L} 20 \log \left(\frac{V_2}{V_0} \right) \text{dB.m}^{-1}$

$A = \quad \text{dB.m}^{-1}$

oob: câble coax: $\sim 3 \text{dB.km}^{-1}$
fibre optique: $\sim 1 \text{dB.km}^{-1}$

lg: cette atténuation dépend en fait aussi de la fréquence. Nos GSF ne nous le permettent pas mais on pourrait montrer que cette atténuation devient très petite pour des fréquences $> 5 \text{THz}$ (valable pour tous les canaux de transmission). cf leuz p 512.

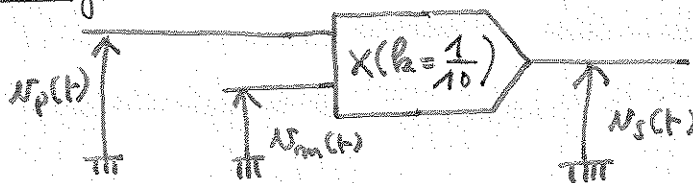
lg: du coup France Telecom est obligé de mettre des terminaux $\sim$ tous les kms pour des câbles coax, tous les 100 kms pour des fibres optiques (pour ne pas perdre l'info).

II - Modulation d'amplitude (AM)

→ le signal informatif est contenu dans l'amplitude du signal porteur.

II. 1 - Modulation par multiplexeur analogique. [1, p209-212]

Montage:



$f_m =$
 $A_m =$
 $A_0 =$
 $f_p =$
 $V_p =$

principe: signal informatif $i(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$
signal moduli (=modulants): $v_m(t) = A_0 + i(t)$
signal porteur: $v_p(t) = A_p \cos(2\pi f_p t + \phi_p)$

on multiplie ces deux signaux:

$$s(t) = k v_p(t) v_m(t) \\ = k A_p \cos(2\pi f_p t + \phi_p) [A_0 + A_m \cos(2\pi f_m t)]$$

$$\Delta(t) = k A_p A_0 \left[1 + \frac{A_m}{A_0} \cos(2\pi f_m t) \right] \cos(2\pi f_p t + \varphi_p)$$

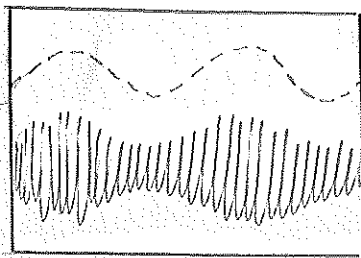
$$\Rightarrow \Delta(t) = K \left[\cos(2\pi f_p t + \varphi_p) + \frac{m}{2} \cos(2\pi(f_p - f_m)t + \varphi_p) + \frac{m}{2} \cos(2\pi(f_p + f_m)t + \varphi_p) \right]$$

avec $K = k A_p A_0$

$$m = \frac{A_m}{A_0} \equiv \text{indice de modulation}$$

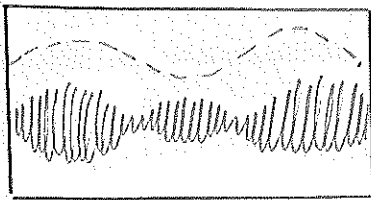
$\Delta(t)$ contient trois fréquences: f_p , $f_p + f_m$, $f_p - f_m$.

Plan 1: on observe $U_m(t)$ et $\Delta(t)$ à l'oscilloscope.



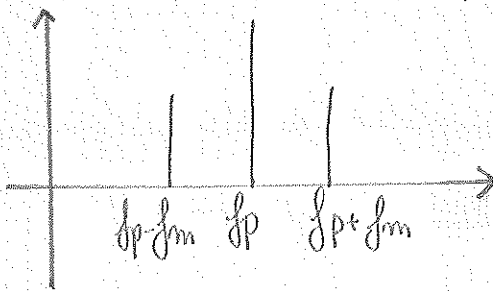
$U_m(t)$ → l'enveloppe de $\Delta(t)$ suit l'évolution de $U_m(t)$.
 $\Delta(t)$ → l'info est bien contenue dans l'amplitude.

Si on a un trop grand m (en fait $m > 1$):



→ l'enveloppe ne suit plus les variations de $U_m(t)$
 → il y a surmodulation.

Plan 2: on observe le spectre de $\Delta(t)$ (FFT)

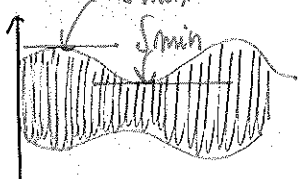


→ on voit bien 3 pics aux fréquences attendues.

$m = \frac{A_m}{A_0} \rightarrow m = f(A_m)$ est une fonction linéaire.

on note $S_{\max}$ et $S_{\min}$ les amplitudes maximales et minimales de

$\Delta(t)$:



$$\begin{cases} S_{\max} = K(1+m) \\ S_{\min} = K(1-m) \end{cases}$$

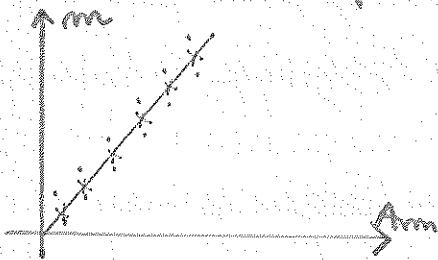
$$\Rightarrow m = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{S_{\max} + S_{\min}}$$

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta A}{A}$$

on mesure: $m = \pm$

valeur attendue: $m_{\text{attendue}} = \frac{A_m}{A_0} =$

anip3: Vérification de la linéarité: on fait varier A_m à A_0 fixé et on trace m en fonction de A_m :



→ on obtient une droite
→ la modulation d'amplitude est linéaire

(Donc on peut envoyer deux signaux additionnés, ils subissent le même traitement et on pourra les récupérer à la fin).

II.2. Démodulation synchrone: C1, p. 217-219]

Le principal intérêt de la modulation d'amplitude réside dans la facilité de la démodulation.

1^{ère} solution: détecteur d'enveloppe → on ne garde que l'enveloppe de $s(t)$ on a récupéré le signal informatif (et condition de ne pas être en surmodulation).

2^è solution: démodulation synchrone → en remultipliant le signal modulé par une porteuse de même fréquence f_p et en filtrant les hautes fréquences on retrouve le signal.

C'est cette deuxième solution qu'on va développer.

principe: on appelle $s'(t)$ le signal à la sortie du 2^d multiplieur:

$$s'(t) \propto s(t) \cos(\omega_p t)$$

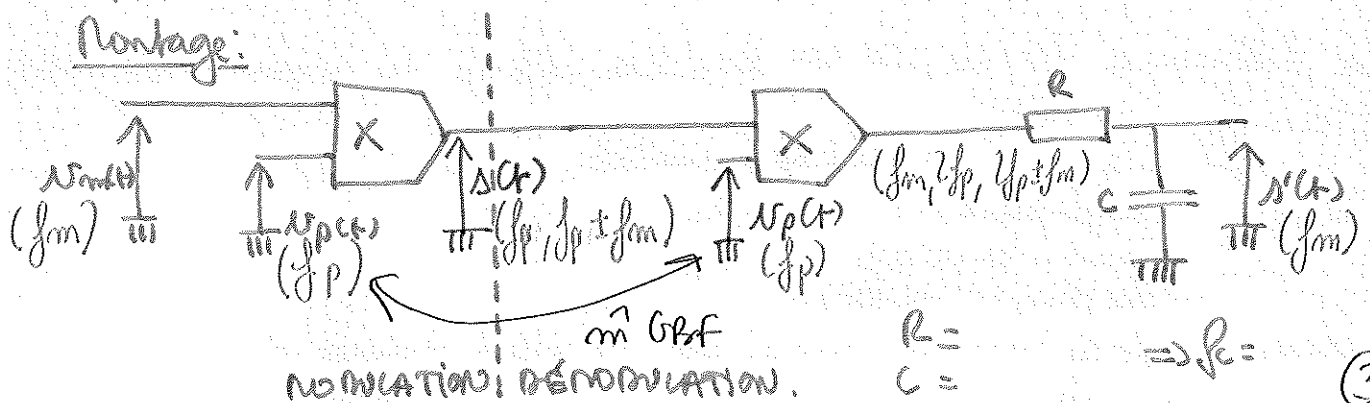
$$\Rightarrow s'(t) \propto \cos^2(\omega_p t + \phi_p) [1 + m \cos(\omega_m t)]$$

$$\Rightarrow s'(t) \propto [1 + \cos(2\omega_p t + 2\phi_p)] [1 + m \cos(\omega_m t)]$$

↳ 4 fréquences: $2f_p$, f_m , $2f_p + f_m$, $2f_p - f_m$.

avec un filtre passe bas on ne garde que f_m et on a retrouvé notre signal à condition d'avoir $f_m \ll f_c \ll 2f_p$ (où f_c est la fréquence de coupure du filtre).

Montage:



Manip 1: Vérifier que les signaux et leurs spectres coïncident.

le signal démodulé est très atténué $\rightarrow$ il faudrait l'amplifier.

Manip 2: Montrer que pour une trop grande fréquence de coupure ça marche pas.

Manip 3: Montrer que même pour la surmodulation ça marche.

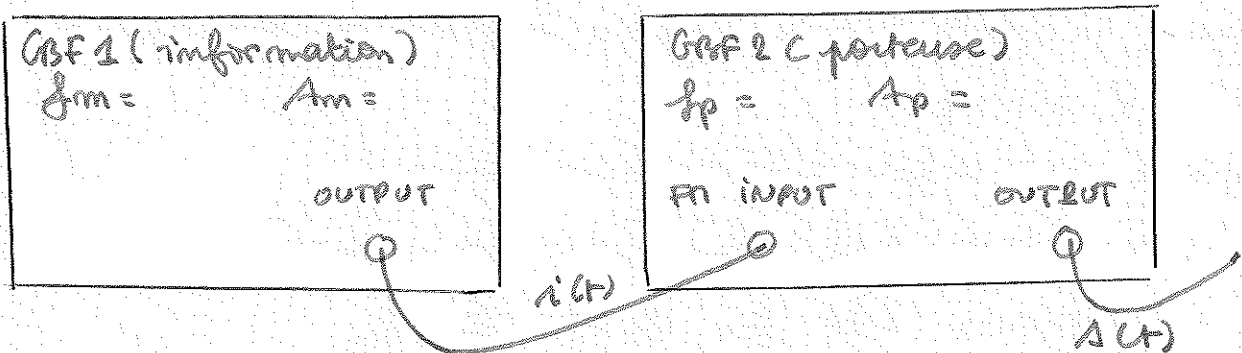
Rq: Dans ce montage on utilise le m GSF pour être sûr que les deux porteurs soient bien à la même fréquence (sinon il pourrait y avoir un phénomène de battements). Dans la vraie vie c'est impossible car l'émission et la réception se font à des endroits différents, alors on utilise en fait des montages plus compliqués (boucles) qui suppriment ce battement.

III - Modulation de fréquence:

$\rightarrow$ cette fois c'est la fréquence de la porteuse qui contient le signal.

III. 1 - Modulation par OCT (= oscillateur commandé en tension). [C1 p222, 228-229]

Montage:



Principe: signal informatif $i(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$

signal porteur: $v_p(t) = A_p \cos(2\pi f_p t + \varphi_p)$

signal modulé: $s(t)$

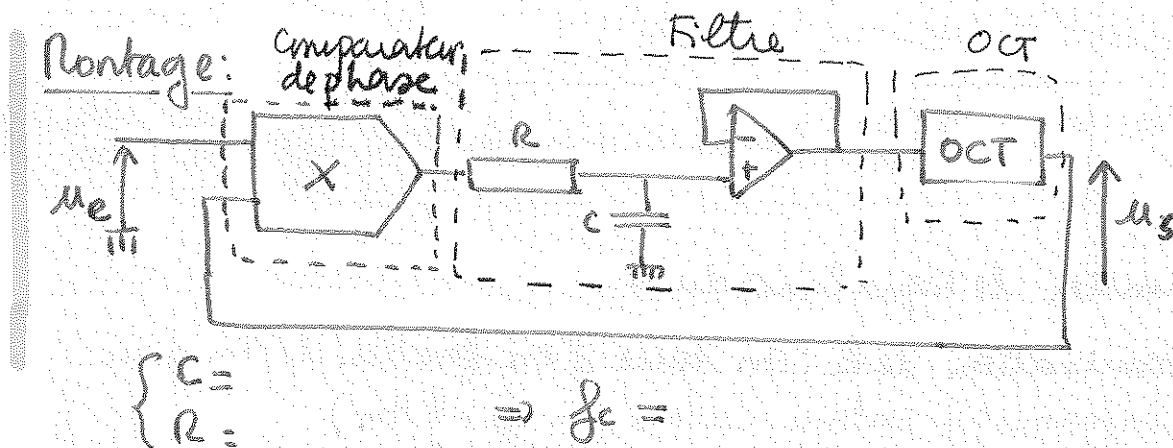
la fréquence $f(t)$ de $s(t)$ est fonction affine du signal informatif:

$$f(t) = \underbrace{f_p}_{\substack{\text{réglée} \\ \text{par le GSF 2}}} + \underbrace{k_f}_{\substack{\text{réglé par le} \\ \text{bouton "amplitude"} \\ \text{du trimpot du GSF 2}}} i(t) \quad \leftarrow \text{signal informatif}$$

la phase instantanée du signal $s(t)$ est alors donnée par:

III.2 - Démodulation par boucle à verrouillage de phase [C1, p.233-238]

III.2.a - BVP.



Principe:

- * le multiplieur joue le rôle de comparateur de phase : il délivre une tension dépendant du déphasage entre u_e et u_s ($\phi = \phi_s - \phi_e$).
- * le filtre élimine les hautes fréquences et fournit une tension à basse fréquence qui agit sur la fréquence de u_s de manière à la rapprocher de la fréquence de u_e .
- * quand les fréquences des deux signaux u_e et u_s sont égales, la boucle est verrouillée et les deux signaux sont égaux (à un déphasage d'une atténuation près).
- * quand la boucle est verrouillée, u_s suit les variations de u_e sur une certaine plage de fréquences = plage de verrouillage Δf_v .

(En fait, pour résumer : on joue sur la fréquence de l'OCT pour se rapprocher de f_e . Tant que f_s est trop éloignée de f_e , $(f_s - f_e)$ est trop gd, donc le filtre coupe, donc la fréquence de l'OCT n'est pas celle qu'on veut. Si maintenant on est suffisamment proche de f_e , le filtre laisse passer et c'est tout bon.)

Planip1: appliquer en entrée un signal quelconque et vérifier que la boucle se verrouille pour une fréquence de l'OCT égale à celle de ce signal.

Montrer qu'alors la tension à la sortie du filtre est ≈ 0 (au voltmètre).

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi}{dt} \Rightarrow \varphi = 2\pi f_p t + \frac{k A_m}{f_m} \sin(2\pi f_m t)$$

En choisissant convenablement l'origine des tps.

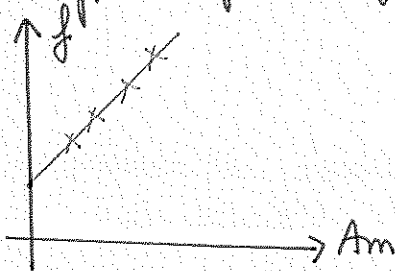
Donc $s(t) = A_p \cos(2\pi f_p t + \frac{k A_m}{f_m} \sin(2\pi f_m t))$

$$\Rightarrow s(t) = A_p \cos[2\pi f_p t + m \sin(2\pi f_m t)]$$

avec $m = \frac{k A_m}{f_m} \equiv \text{indice de modulation}$ $\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta k}{k} + \frac{\Delta A_m}{A_m} + \frac{\Delta f_m}{f_m}$

Manip 1: montrer le signal modulé.

Manip 2: Détermination de k : on trace f en fonction de A_m pour un signal informatif continu (alors $f = f_p + k A_m$).



→ droite linéaire de coefficient directeur k .

on trouve $k = \pm H_z \cdot V^{-1}$

Manip 3: Calcul de m . On remplace à $i(t) = A_m \cos(f_m \text{ est })$ avec A_m et f_m fixes.

$$m = \pm$$

on définit l'excursion en fréquence du signal modulé:

$$\Delta f = k A_m = m f_m \quad \left| \quad \frac{\Delta f}{\Delta(\Delta f)} = \frac{\Delta k}{k} + \frac{\Delta A_m}{A_m} \right|$$

Manip 4: Calcul de l'excursion en fréquence: $\Delta f = m \cdot f_m$ (en utilisant la formule $\Delta f = k A_m$).

$$\Delta f = \pm H_z$$

on lit sur l'oscillo: $f_{\max} =$
 $f_{\min} =$

$$\Rightarrow \Delta f =$$

Rq: Dans la raie ue: $\Delta f_{\max} = 75 \text{ kHz}$ et $f_{\max} = 15 \text{ kHz}$, donc $m = 5$.

Exemple 2: déterminer la plage de verrouillage.

$$\begin{cases} f_{\max} = \\ f_{\min} = \end{cases} \Rightarrow \Delta f_0 =$$

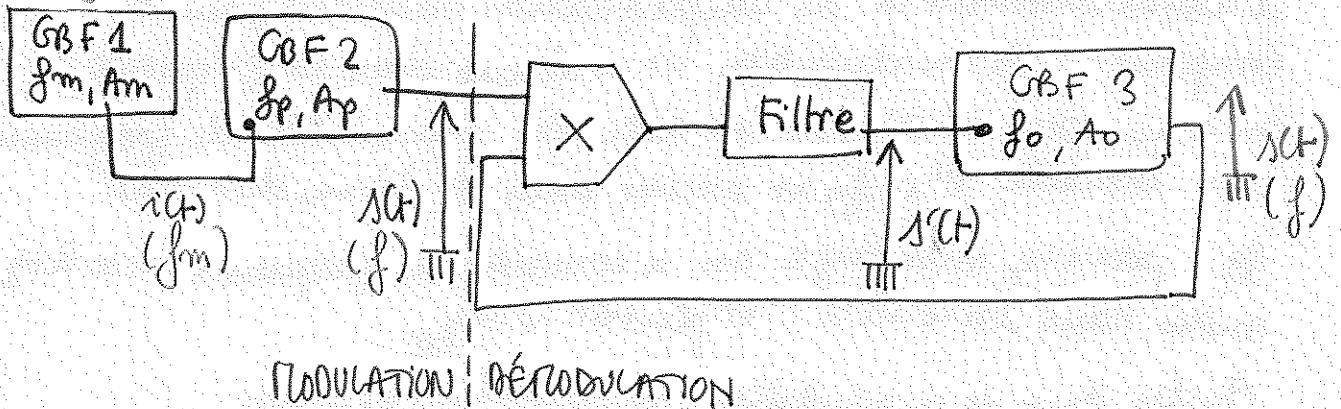
(en fait c'est très très petit...).

Si ça marche bien on peut observer qu'une fois que la boucle est verrouillée, si on revient en arrière la fréquence à laquelle la boucle se verrouille de nouveau est $<$ fréquence de verrouillage.

III.2.b- Démodulation:

On utilise notre boucle à verrouillage de phase pour démoduler le signal précédent.

Montage:



Principe: lorsque la boucle est verrouillée, alors on retrouve f_0 à la sortie du GBF 3.

Donc finalement c'est comme si en modulant $s'(t)$ on obtenait $s(t)$, donc on a bien que $s'(t)$ doit ressembler à $i(t)$...

En calculant:

$$\begin{cases} \text{si } f_0 = f_p \\ \text{si } f(t) \text{ varie lentement (ce qui est vrai parce qu'on aura imposé une amplitude faible à } i(t)) \end{cases}$$

alors $f = f_0 + s'(t)k_3$ (k_3 est lié au GBF 3, c'est pour la modulation)

$$\Rightarrow s'(t) = \frac{f - f_0}{k_3} = \frac{f_p + i(t)k_2 - f_0}{k_3} \Rightarrow s'(t) \propto i(t)$$

Remarque: montrer qu'on retrouve bien à la sortie du filtre un signal qui ressemble au signal informatif (vérifier en particulier les fréquences sont bien les mêmes).

Conclusion:

On a vu dans ce montage comment la modulation permet le transport d'une information par l'intermédiaire d'un autre signal mieux adapté au canal de transmission choisi.

On voit ainsi qu'on peut par exemple transporter du son ($20\text{ Hz} - 20\text{ kHz}$) par le canal hertzien ($> 100\text{ GHz}$): c'est le principe de la radio.

La modulation d'amplitude est la plus simple mais le pb est que le signal peut être très bruité sur de longues distances à cause de l'affaiblissement et de l'amplification nécessaire pour le compenser (la modulation est contenue dans la fréquence).

On a un peu moins de pb avec la modulation de fréquence, pour laquelle l'info est stockée dans la forme du signal.

Rq: pour ce montage on a considéré des fréquences $< 100\text{ kHz}$ mais dans la réalité c'est plutôt $\sim 1\text{ GHz}$.

Autre type de modulation: modulation de phase.