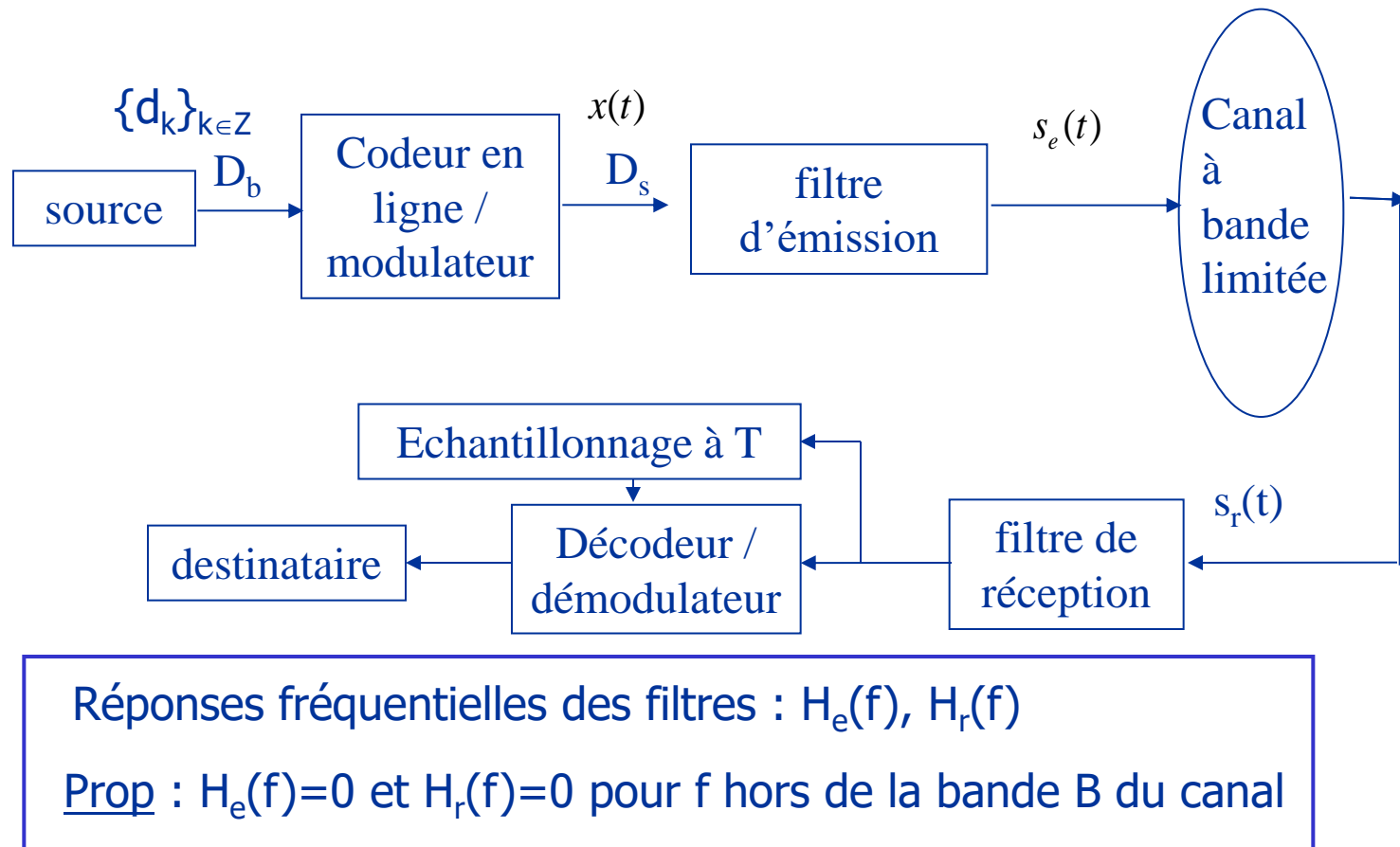


Partie 2 :

Les contraintes fréquentielles

- *Comment appliquer les infos numériques sur les signaux physiques qui vont se propager sur un canal de réponse fréquentielle limitée, comment les traiter ?*
- *Est-ce possible de transmettre les bits sans erreur ? Y a-t-il des limites à respecter ?*

Chaîne de transmission : rôle du récepteur



But : trouver à l'instant $t_j = jT + \tau$ la valeur de a_j (bande de base) ou de c_j (modulation) !

τ : délai de transmission + délai pour choisir au mieux t_j (ex : au milieu du symbole)

Expression des signaux temporels le long de la chaîne : cas de la bande de base

$$s_e(t) = \sum_k a_k f_e(t - kT)$$

$$s_r(t) = s_e(t) \quad \text{grâce au filtre d'émission}$$

$$y(t) = s_e(t) * h_r(t) = \sum_k a_k (f_e * h_r)(t - kT)$$

$$y(t) = \sum_k a_k l(t - kT)$$



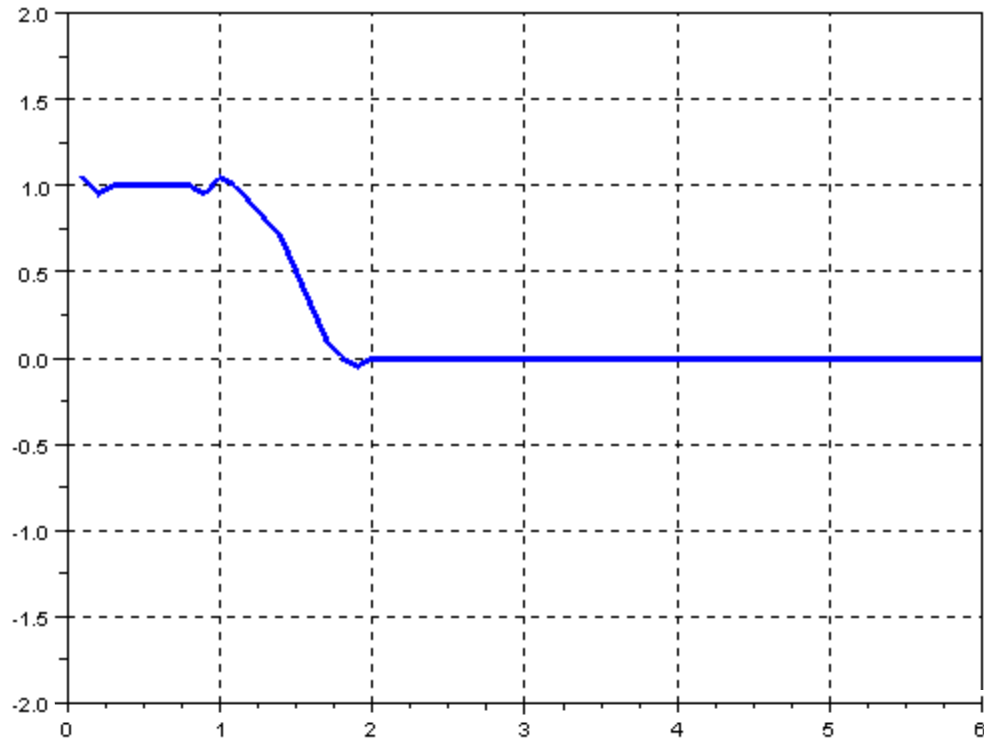
Signal reçu, différent du signal émis !

Signal reçu équivalent d'un signal de type PAM avec une impulsion $l(t)$

$$\text{avec } l(t) = (g * h_e * h_r)(t)$$

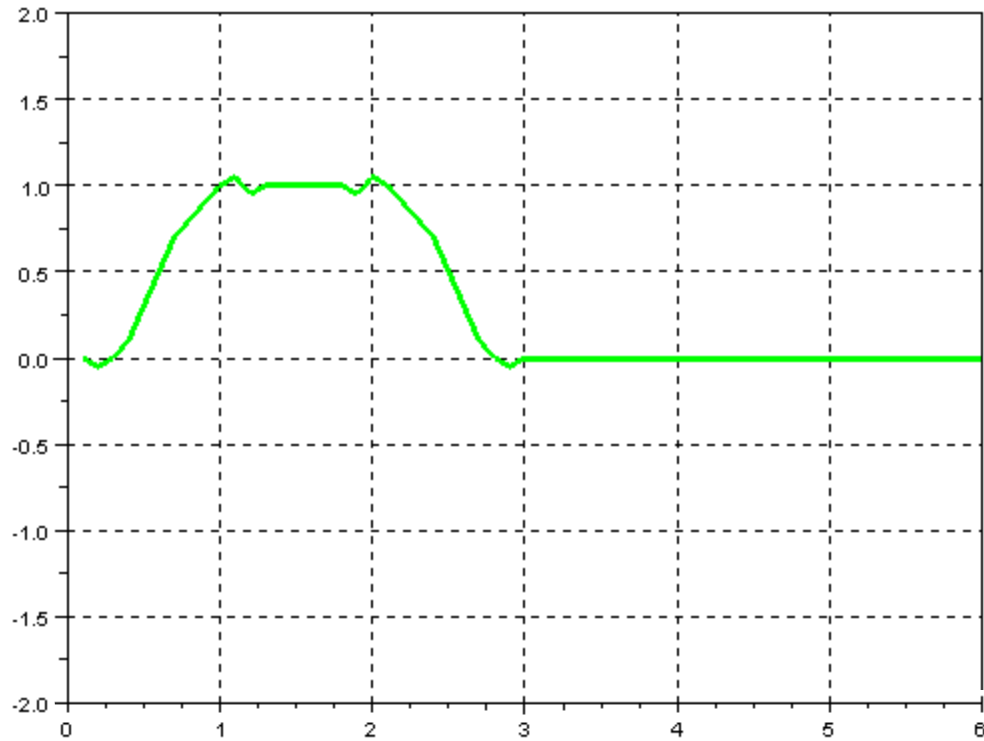
Exemple : porte 'élargie'

Suite de bits : 1 1 1 0 1 0



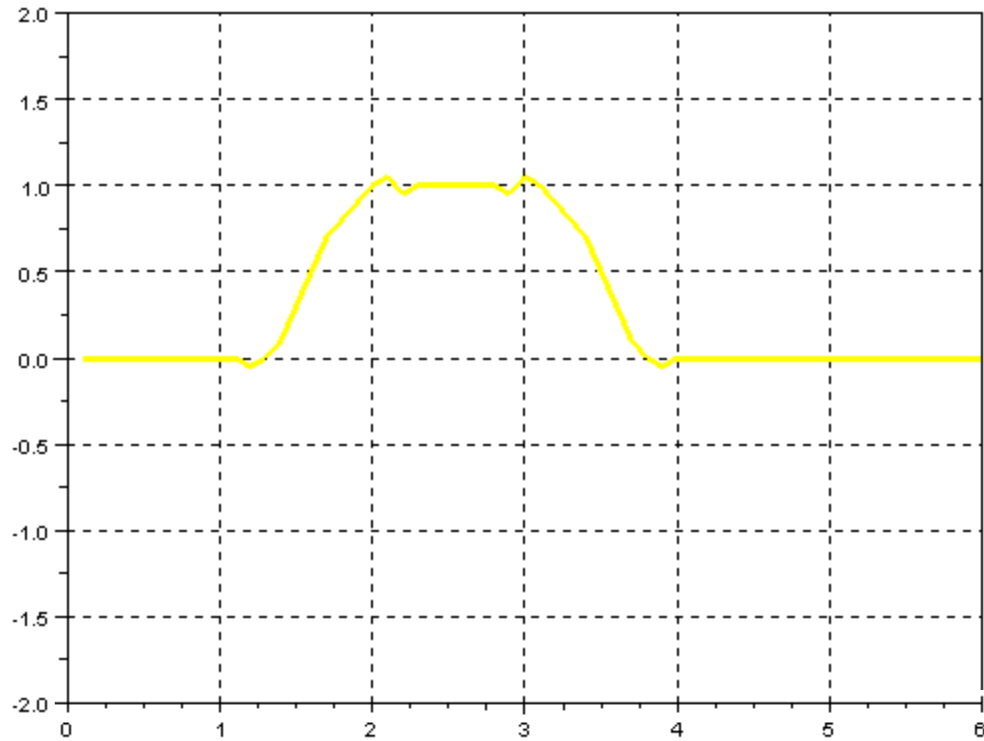
Exemple : porte 'élargie'

Suite de bits : 1 1 1 0 1 0



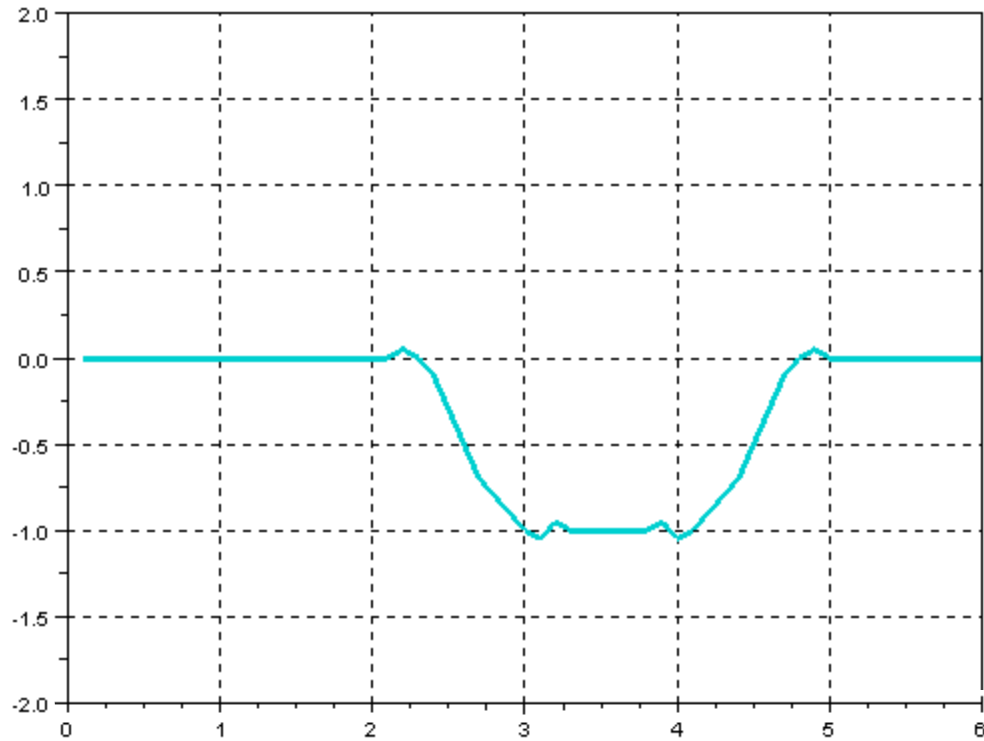
Exemple : porte 'élargie'

Suite de bits : 1 1 1 0 1 0



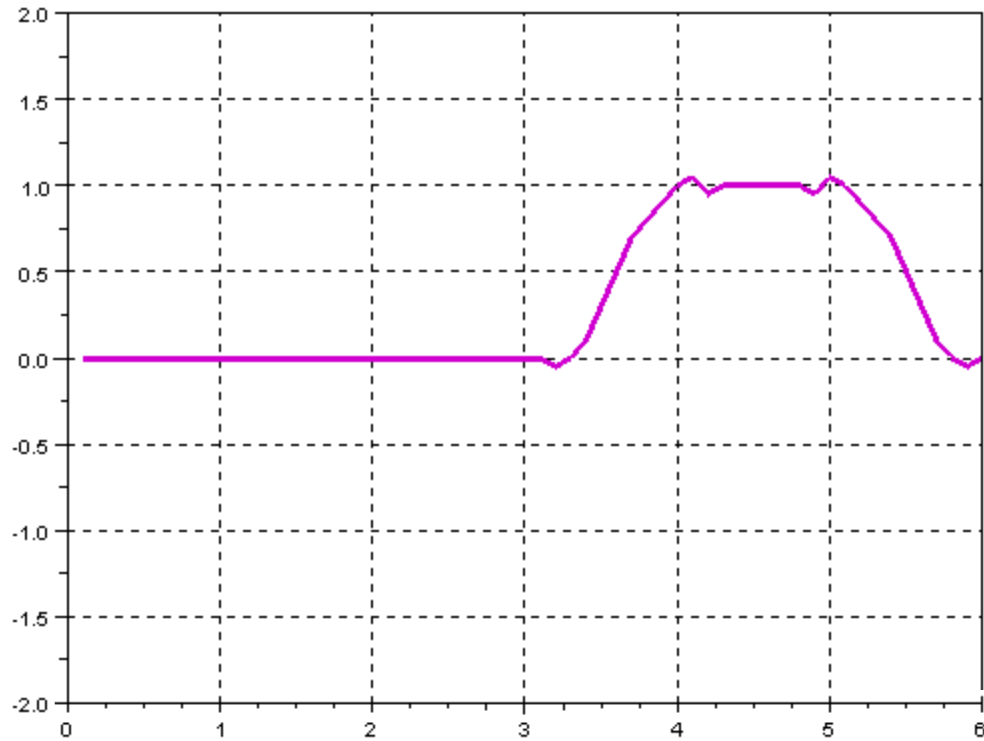
Exemple : porte 'élargie'

Suite de bits : 1 1 1 0 1 0



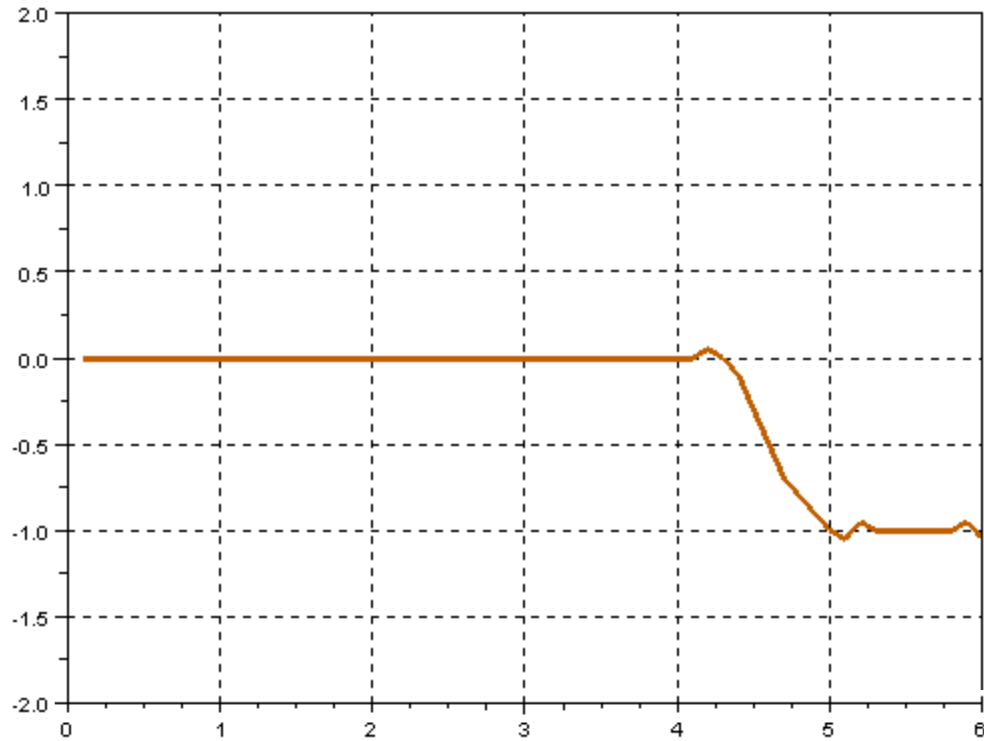
Exemple : porte 'élargie'

Suite de bits : 1 1 1 0 1 0



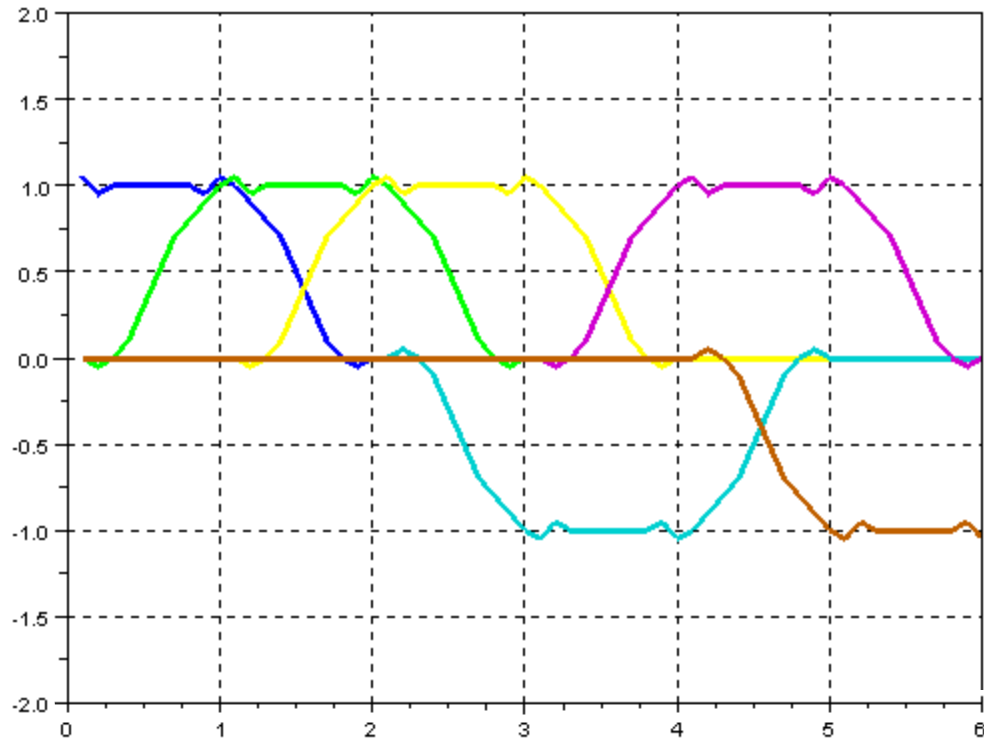
Exemple : porte 'élargie'

Suite de bits : 1 1 1 0 1 0

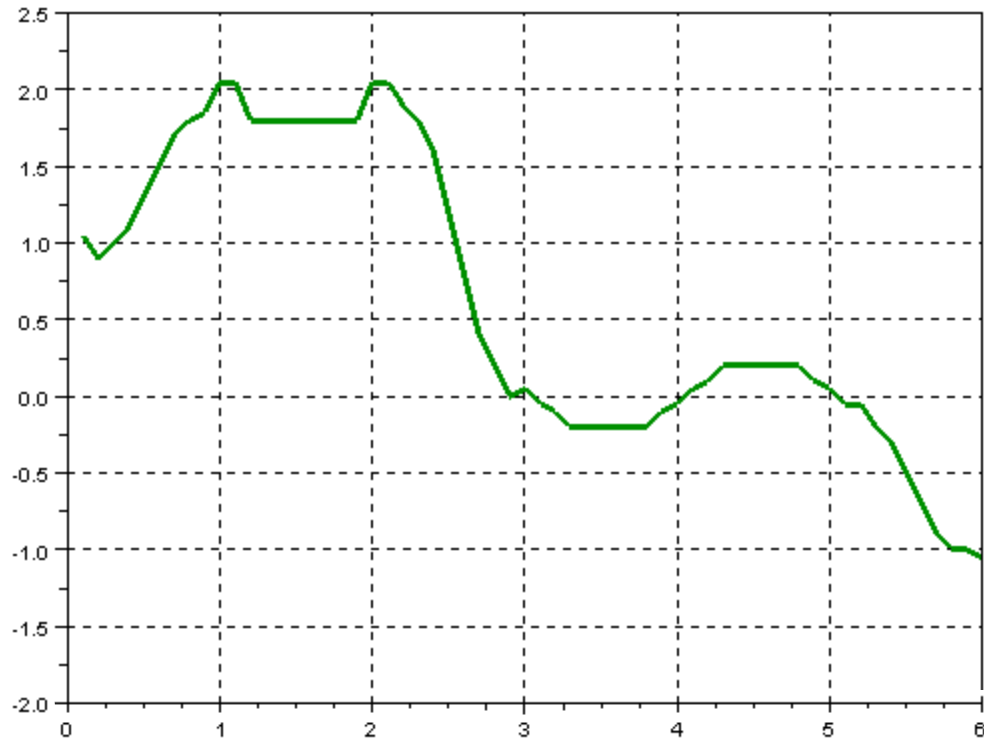


Exemple : porte 'élargie'

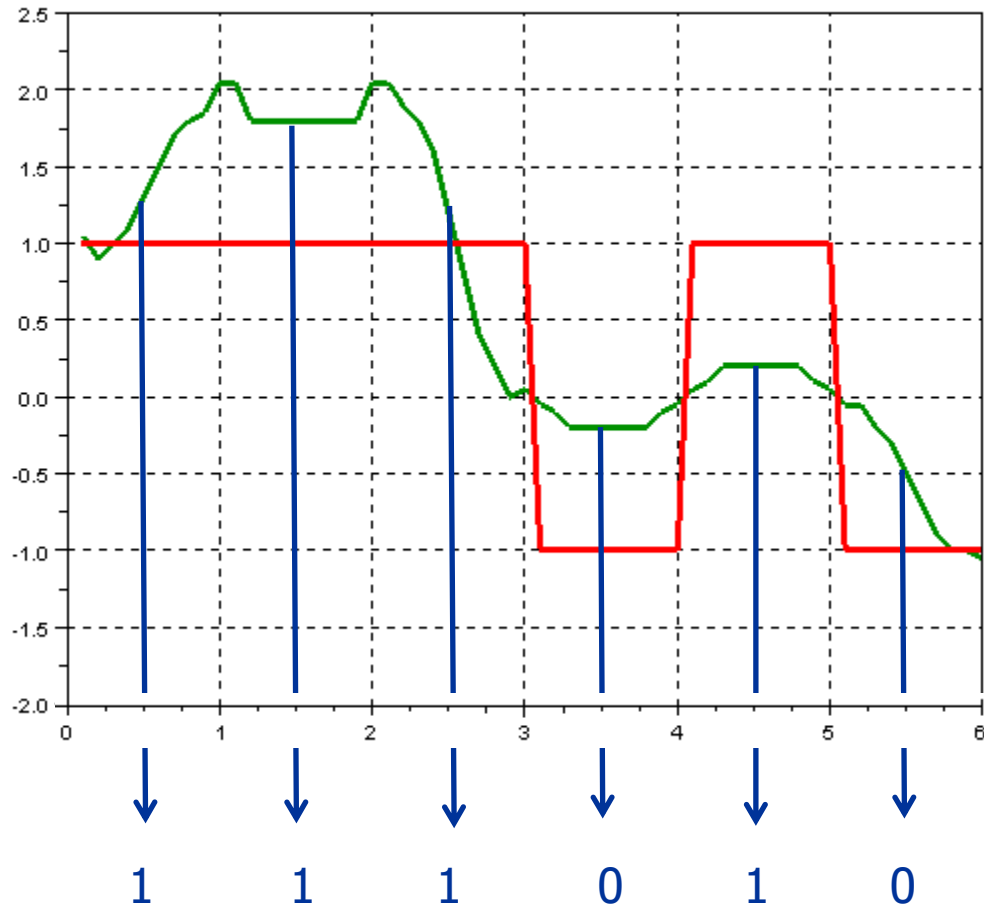
Suite de bits : 1 1 1 0 1 0



Exemple : IES aux instants d'échantillonnage

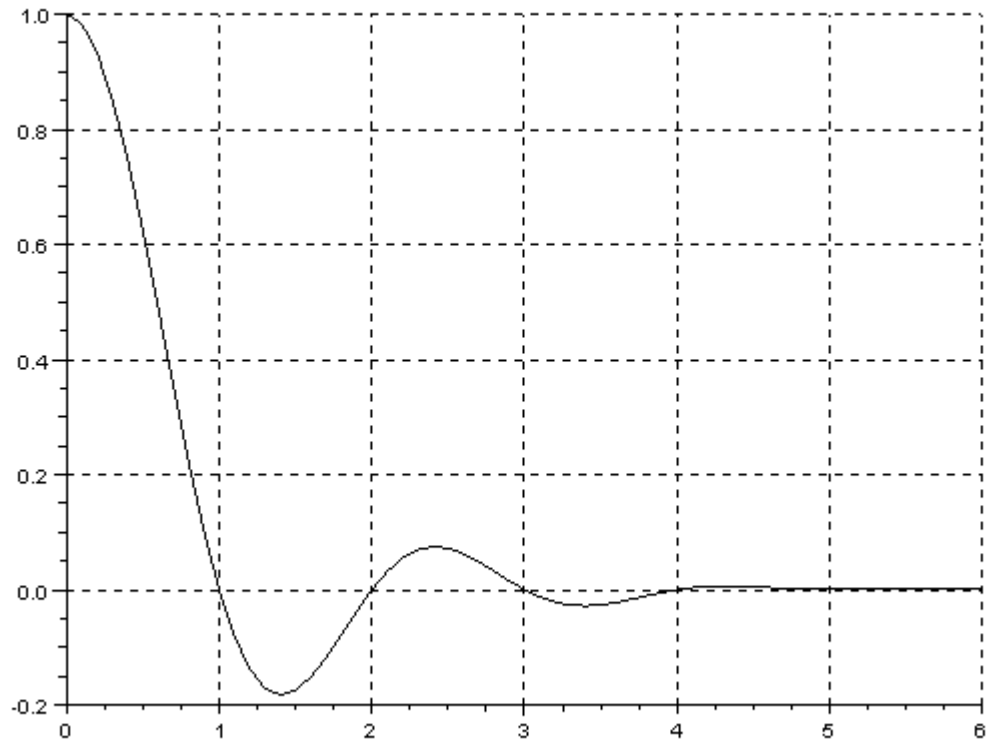


Exemple : IES aux instants d'échantillonnage



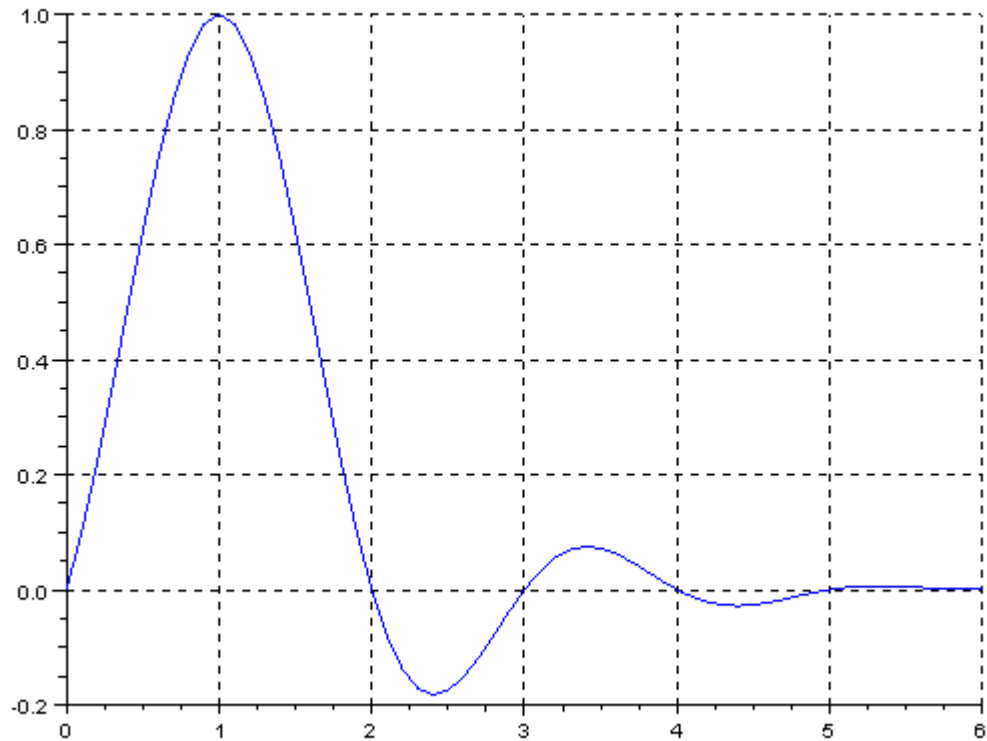
Exemple : avec filtrage optimisé

Suite de bits : 1 1 1 0 1 0



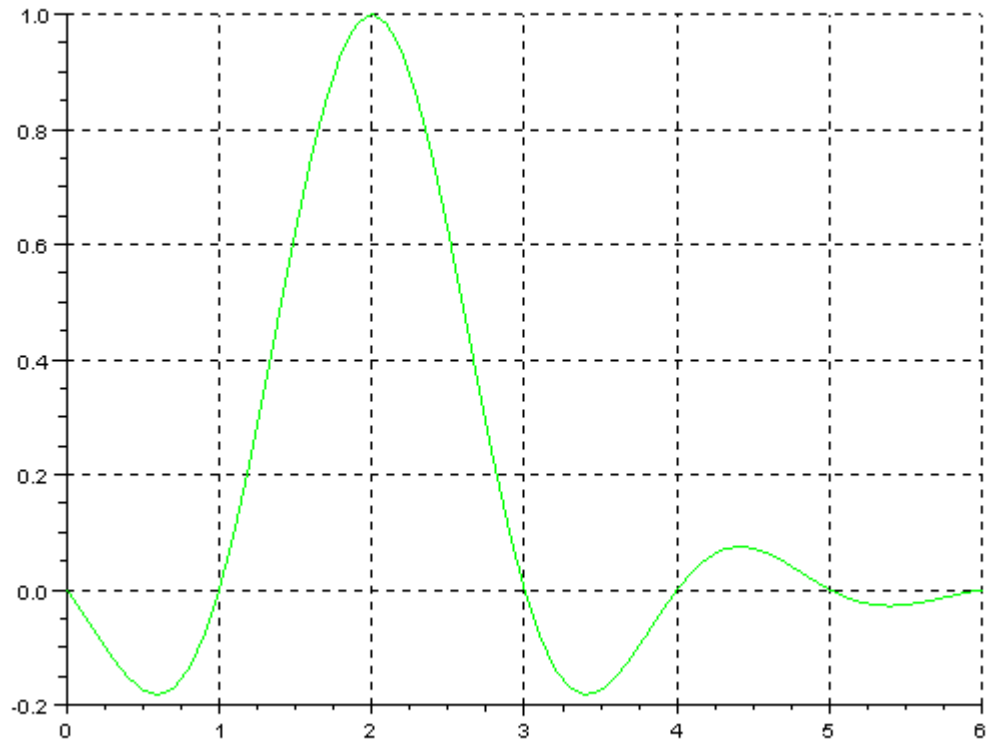
Exemple : avec filtrage optimisé

Suite de bits : 1 1 1 0 1 0



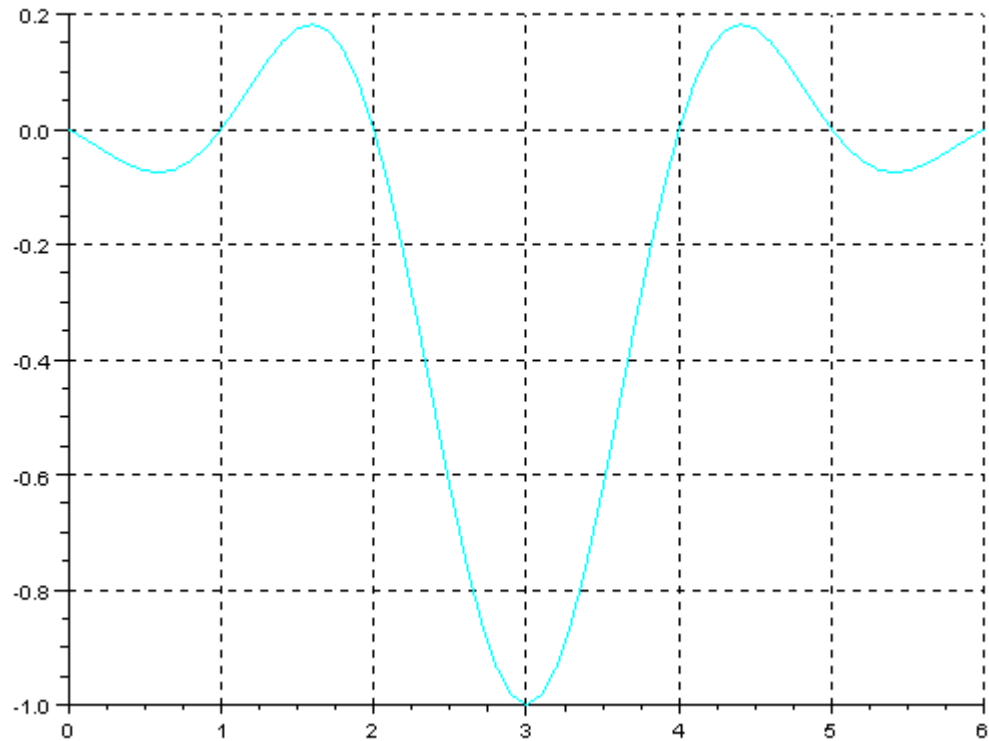
Exemple : avec filtrage optimisé

Suite de bits : 1 1 1 0 1 0



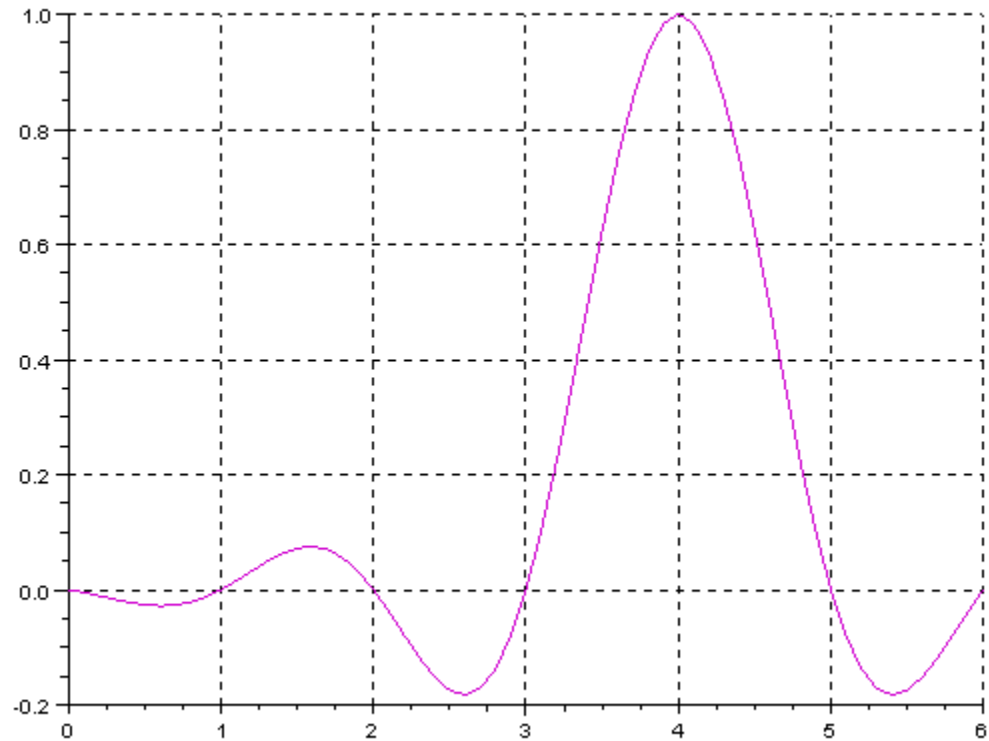
Exemple : avec filtrage optimisé

Suite de bits : 1 1 1 0 1 0



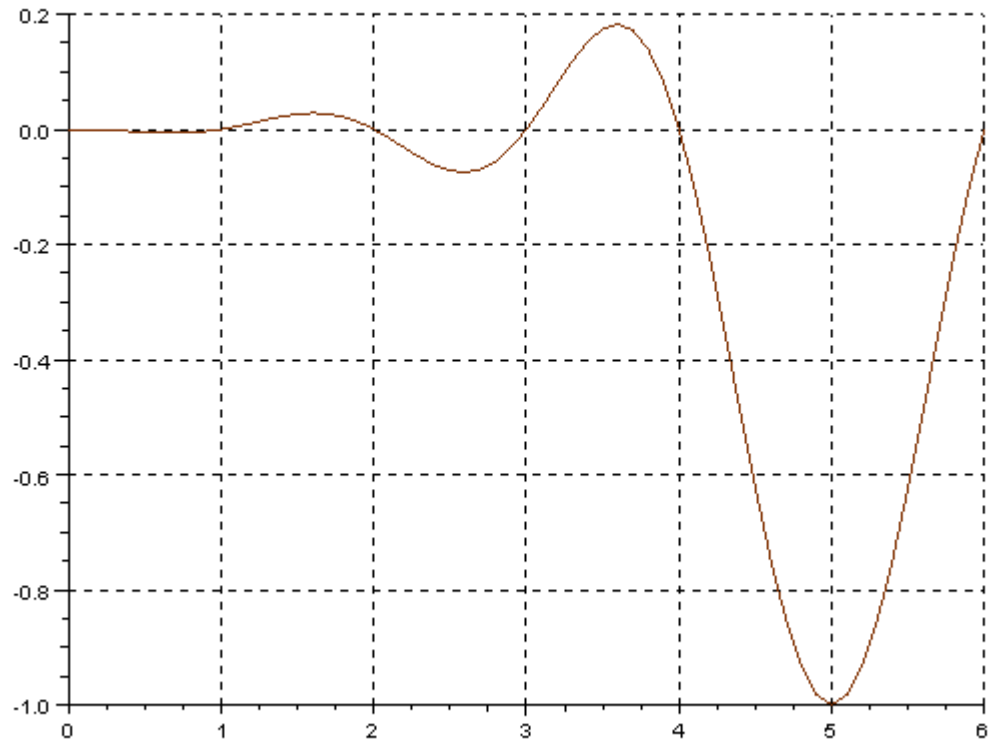
Exemple : avec filtrage optimisé

Suite de bits : 1 1 1 0 1 0



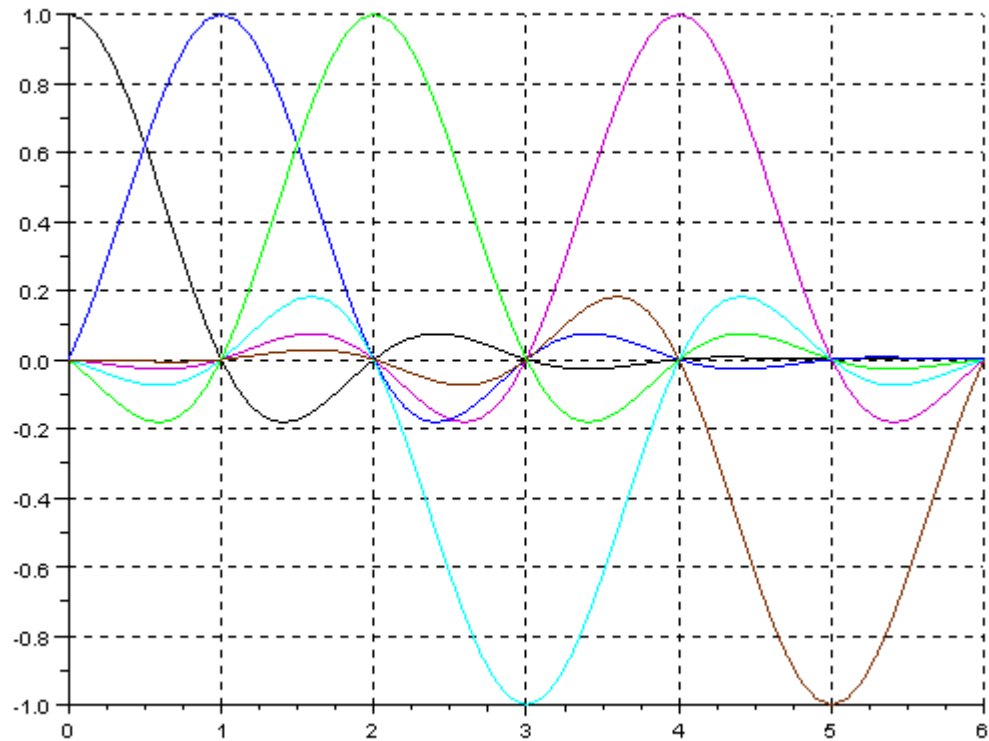
Exemple : avec filtrage optimisé

Suite de bits : 1 1 1 0 1 0



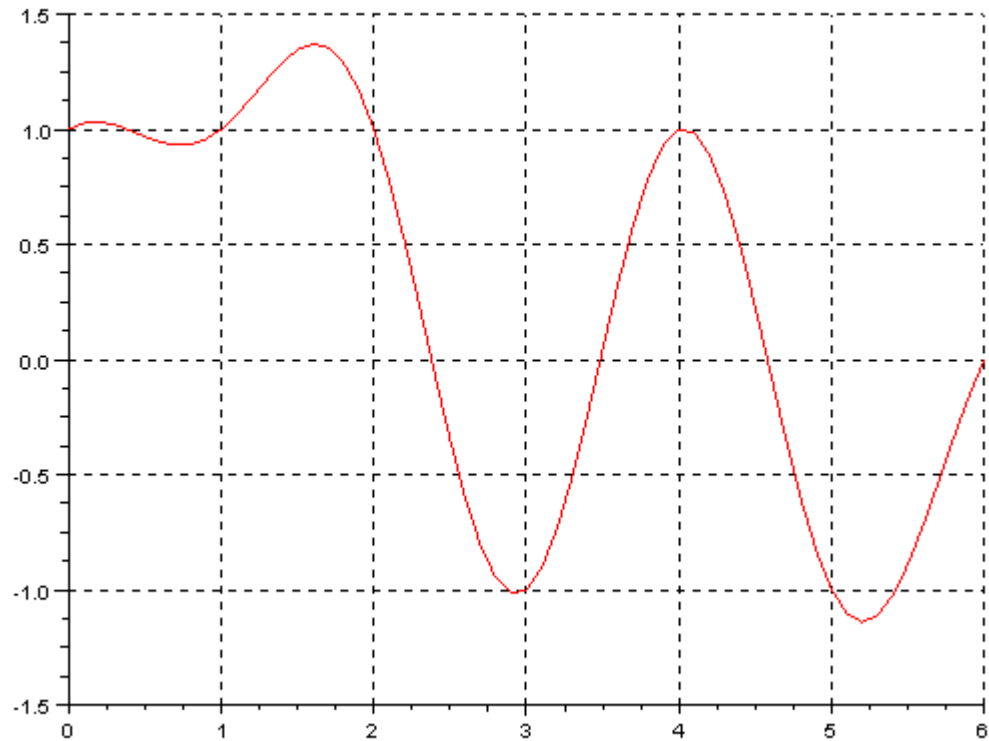
Exemple : avec filtrage optimisé

Suite de bits : 1 1 1 0 1 0

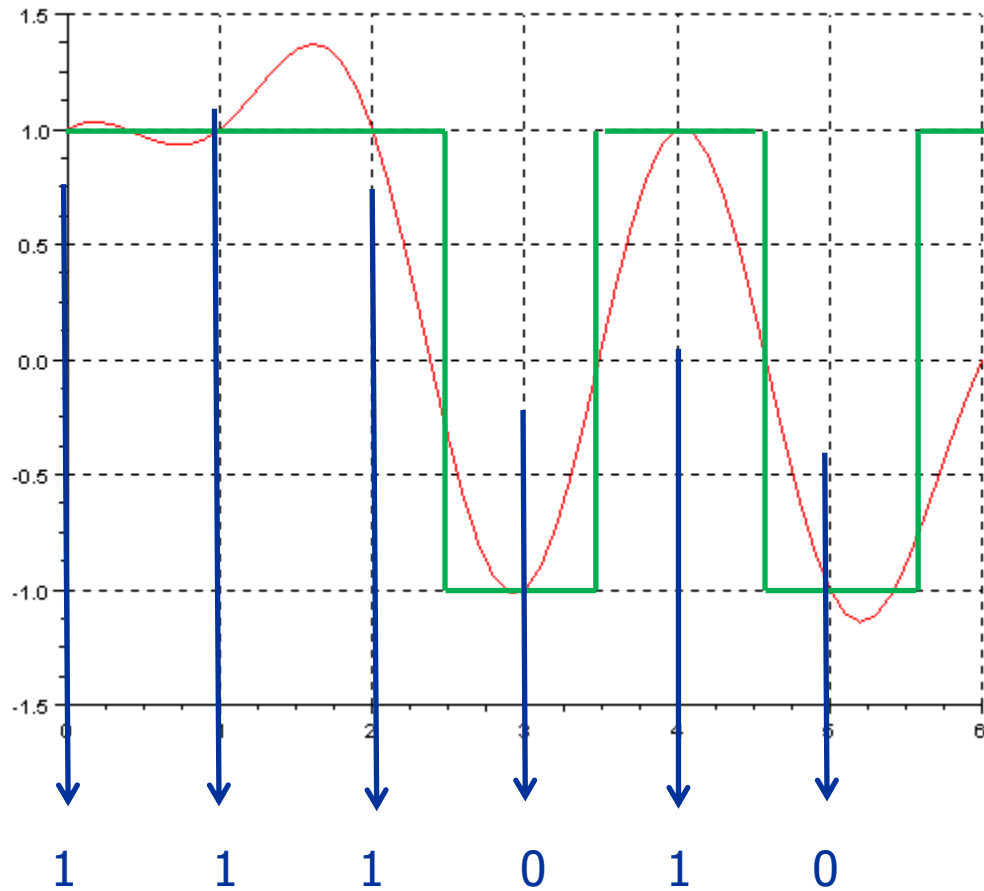


Exemple : avec filtrage optimisé

Suite de bits : 1 1 1 0 1 0



Exemple : pas d'IES aux instants d'échantillonnage



Influence du filtrage : interférence entre symboles

À l'instant d'échantillonnage $t_j = jT + \tau$:

$$y(t_j) = a_j l(\tau) + \sum_{k \neq j} a_k l(\tau + (j - k)T)$$

=> 2 termes : **l'information + l'IES**

*Limitation de bande fréquentielle => élargissement temporel
des signaux émis et donc possibilité d'IES*

Suppression possible de l'IES à l'instant d'échantillonnage

critère de Nyquist :
$$\begin{cases} l(\tau + kT) = 0 \\ \forall k \neq 0 \end{cases}$$

Traduction dans le domaine fréquentiel :

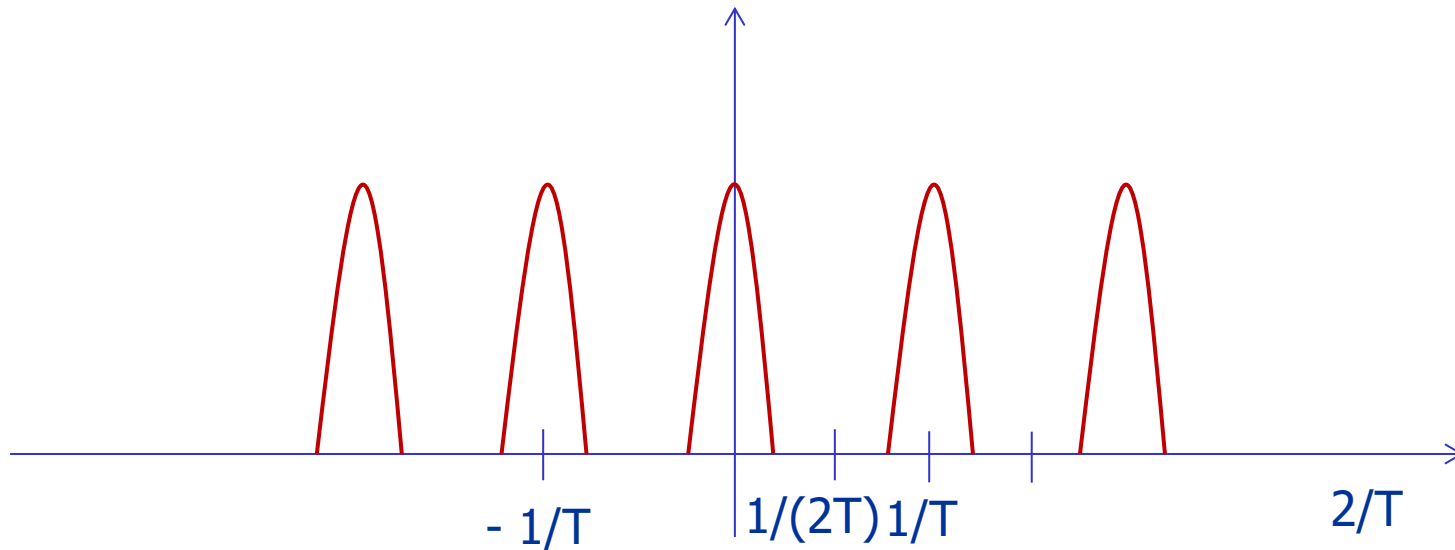
$$\sum_{n=-\infty}^{+\infty} L\left(f - \frac{n}{T}\right) = c^{ste}$$



*Nyquist
(1889-1976)*

Critère de Nyquist : traduction dans le domaine fréquentiel

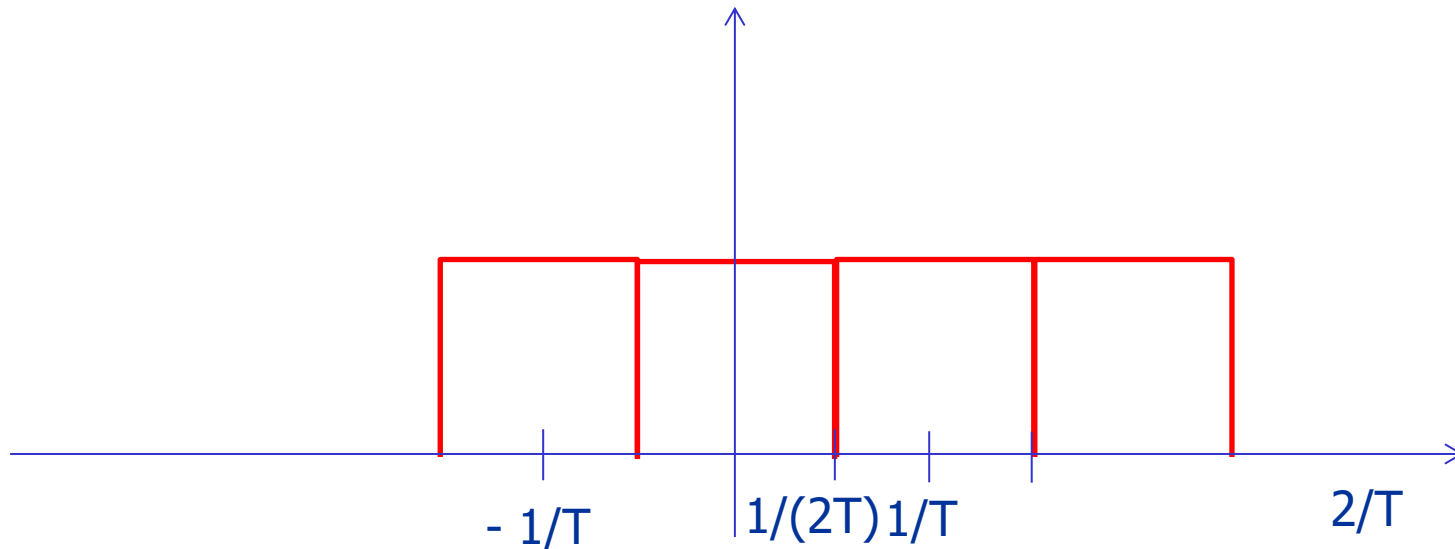
$$\sum_{n=-\infty}^{+\infty} L\left(f - \frac{n}{T}\right) = c^{ste}$$



Si bande occupée trop restreinte => Pas fonction constante => Il y a de l'IES !

Critère de Nyquist : traduction dans le domaine fréquentiel

$$\sum_{n=-\infty}^{+\infty} L\left(f - \frac{n}{T}\right) = c^{ste}$$



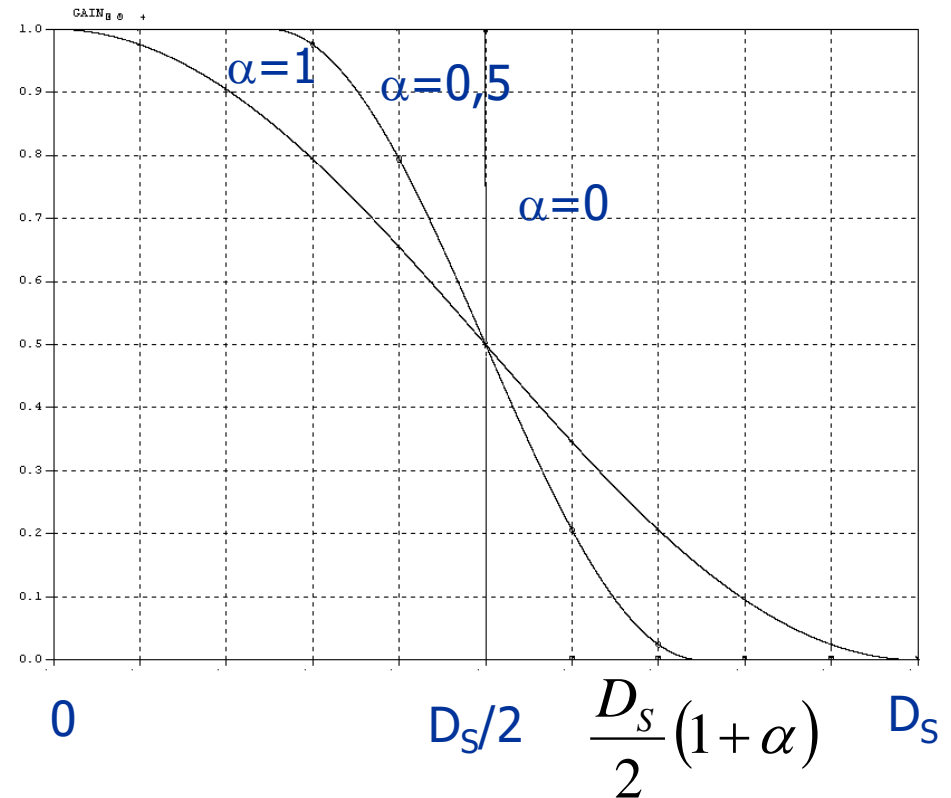
Condition respectée avec fonction constante sur $B = D_s/2$

Généralisation : nécessité d'avoir $B_{occ} \geq D_s/2$

Fonction en cosinus surélevé : solution de filtrage vérifiant le critère de Nyquist

$$\left\{ \begin{array}{l} CS_{\alpha}(f) = 1 \text{ pour } |f| < \frac{1}{2T}(1-\alpha) \\ CS_{\alpha}(f) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \left[\frac{\pi}{\alpha} (|f|T - 0.5) \right] \\ \text{pour } \frac{1}{2T}(1-\alpha) \leq |f| \leq \frac{1}{2T}(1+\alpha) \\ CS_{\alpha}(f) = 0 \text{ pour } |f| > \frac{1}{2T}(1+\alpha) \end{array} \right.$$

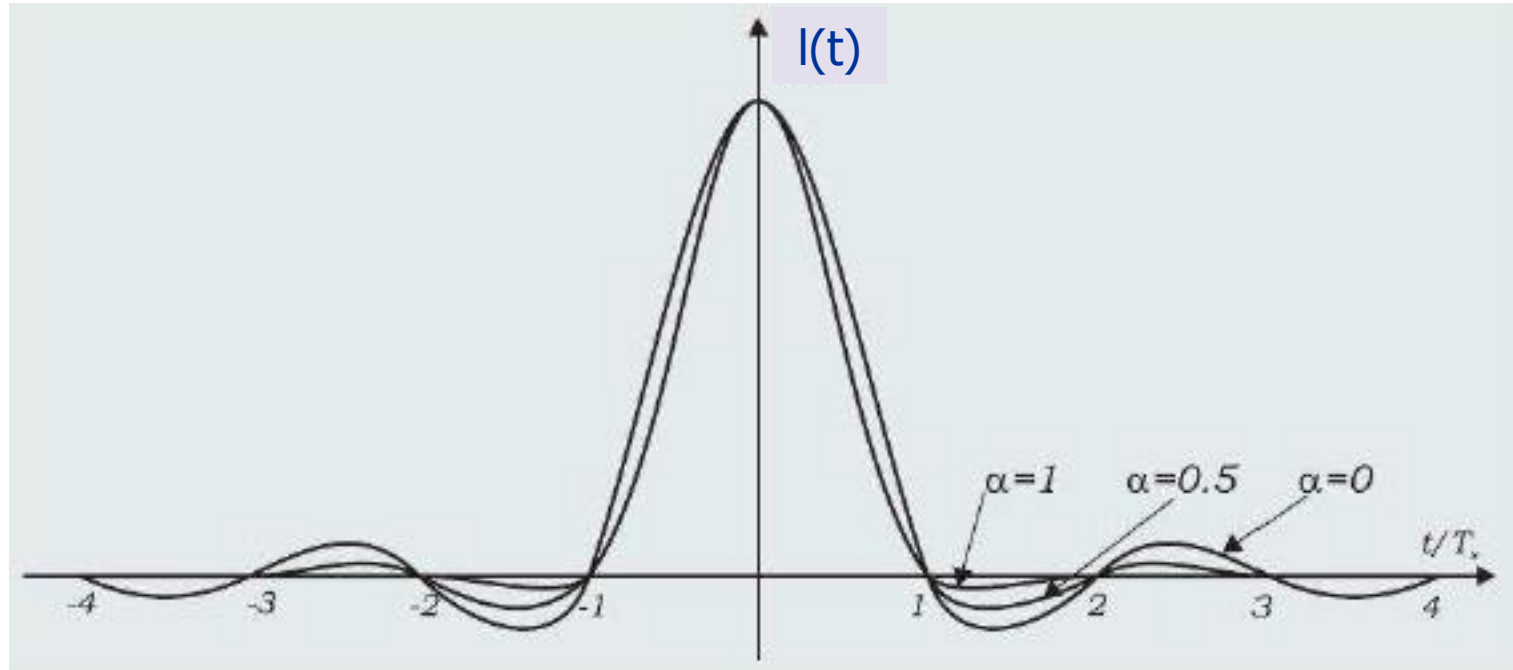
α : 'coefficient d'arrondi du filtre', compris entre 0 et 1



- Si $L(f) = TF(l(t)) = CS_{\alpha}(f)$, **il n'y a pas d'IES !**
(voir forme de l'impulsion temporelle sur diapo précédente)
- Bande occupée = $B_{occ} = (D_s/2) \times (1+\alpha)$

Rappel :
 $D_s = 1/T$

Impulsion associée au filtrage de Nyquist

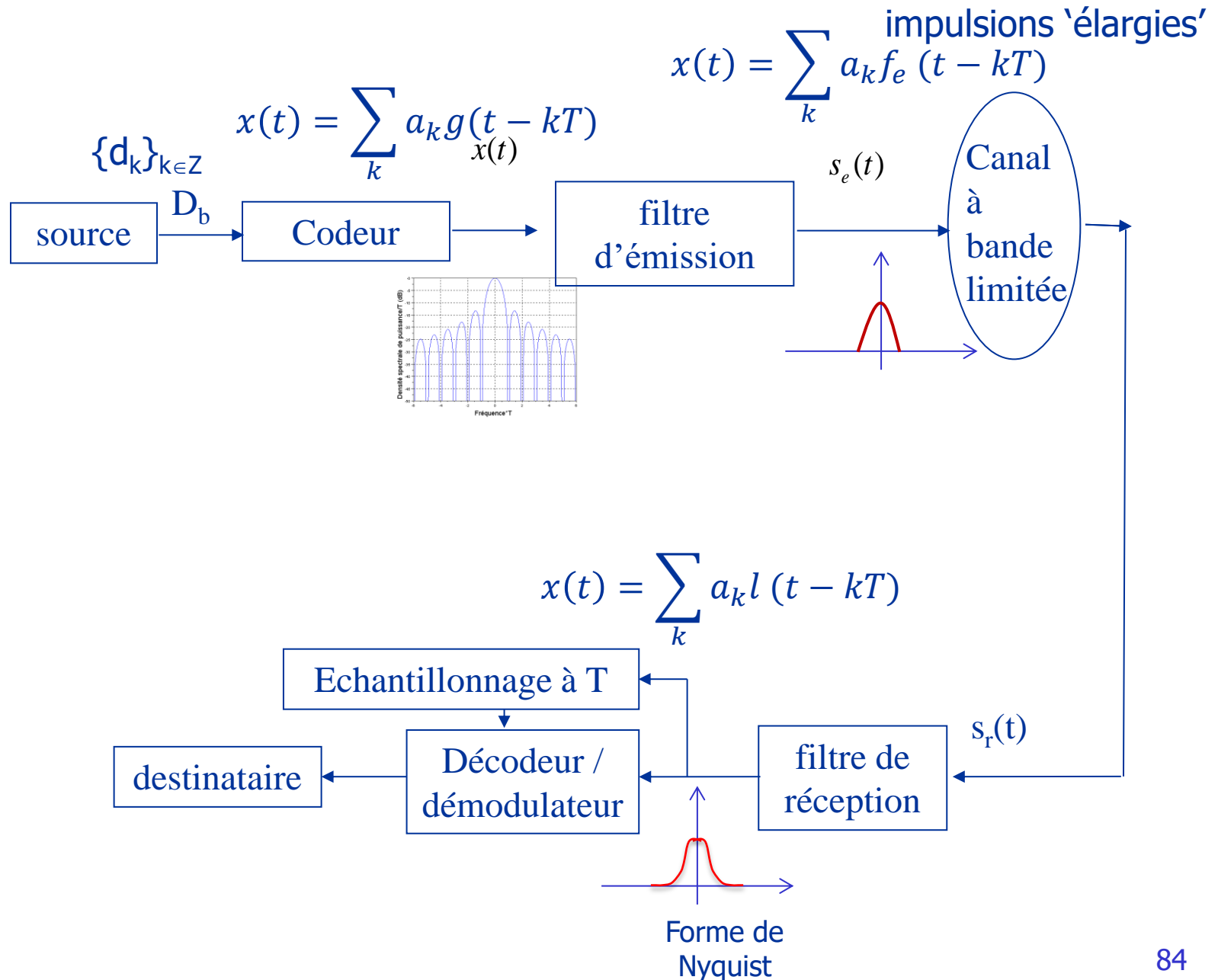


Avec cette forme particulière d'impulsion $I(t)$:

A l'instant d'échantillonnage, pas de contribution des symboles voisins, car $I(t+kT)=0$ pour tout k différent de 0.

=> IES est toujours nulle : le critère de Nyquist bien respecté !

Récapitulatif : signaux dans la chaîne de transmission



Question

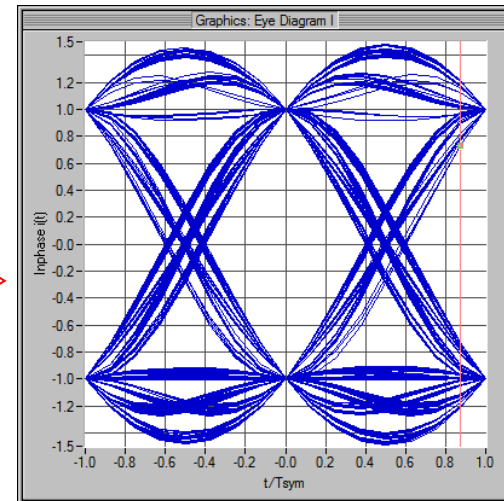
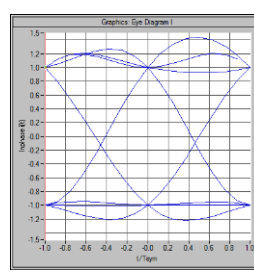
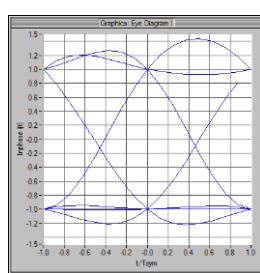
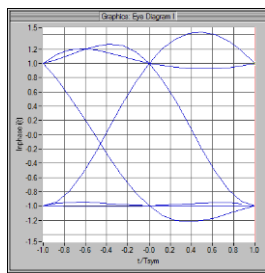
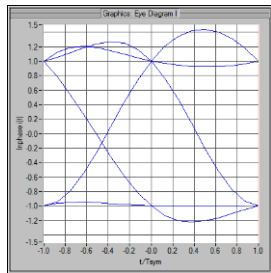
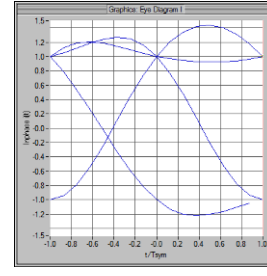
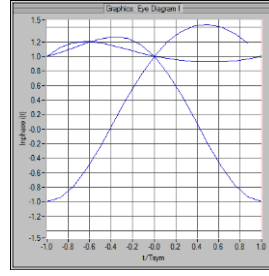
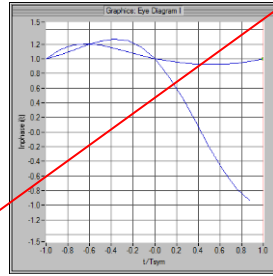
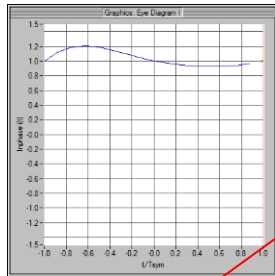
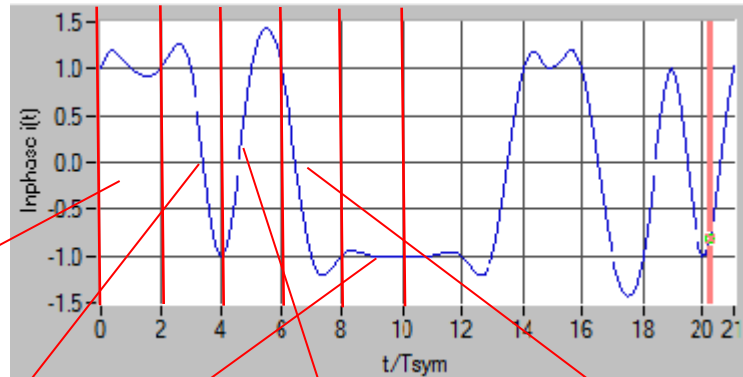


Quel débit binaire fait-on passer avec un code en ligne utilisant 128 niveaux, qui occupe une bande fréquentielle de 3,5 MHz de bande passante, en utilisant un filtrage global de Nyquist à coefficient d'arrondi 0,4 ?

- A) 17,5 Mbit/s
- B) 24,5 Mbit/s
- C) 35 Mbit/s
- D) 320 Mbit/s

Construction d'un diagramme de l'œil : ex transmission binaire NRZ

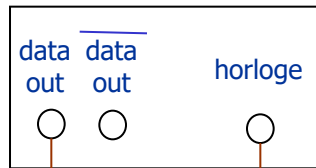
1 1 1 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 1 0 ...



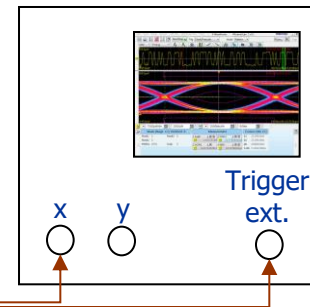
Un outil très utile !

Facile à mesurer

Générateur de séquences
pseudo-aléatoires



oscilloscope

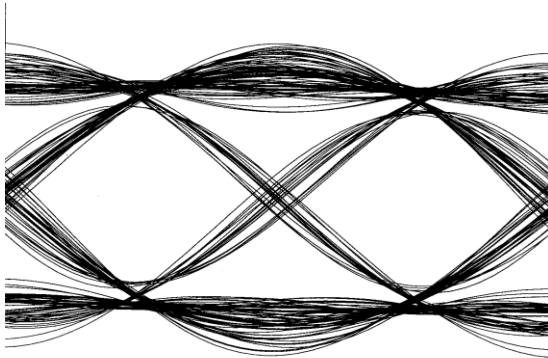


mode
'accumulation'

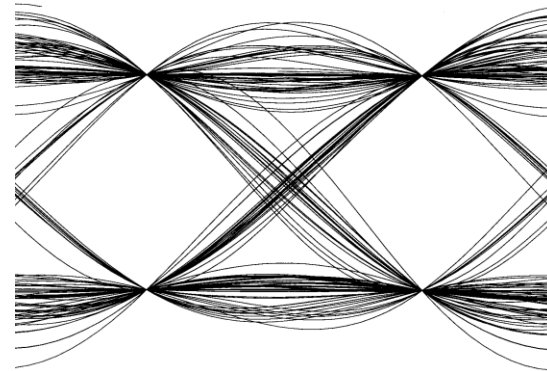
Visualisation sur le diagramme de l'oeil



- influence du filtrage de Nyquist sur le signal $y(t)$ dans le cas d'une transmission sans bruit :



Avec ou sans filtrage ?

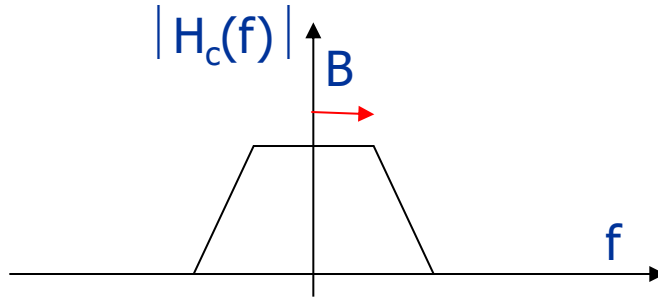


Avec ou sans filtrage ?

Critère de Nyquist : lien bande du canal/débit symboles



Bande de base



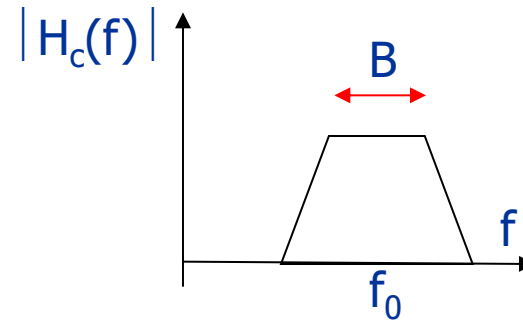
Propriété du canal :

Il est possible de ne pas avoir d'IES si l'on fait un filtrage de Nyquist.

Il faut : $B \geq B_{\text{occ}} = (D_S/2) \times (1+\alpha)$

$B_{\text{min}} = D_S/2$ ou $D_{\text{Smax}} = 2B$

Transmission avec modulation



Propriété du canal :

Il est possible de ne pas avoir d'IES si l'on fait un filtrage de Nyquist.

Il faut : $B \geq B_{\text{occ}} = D_S (1+\alpha)$

$B_{\text{min}} = D_S$ ou $D_{\text{Smax}} = B$

=> Si $M \uparrow$: + de débit binaire dans la même bande ou moins d'occupation spectrale à débit binaire fixe

Bilan 3

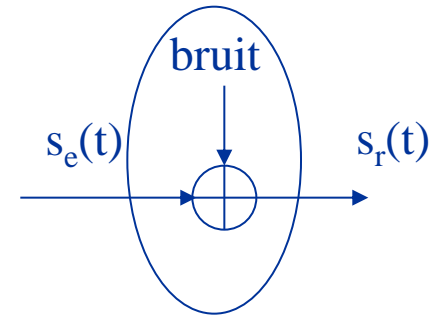
Canal : de **bande B limitée** pour la transmission

⇒ Possibilité de limiter le spectre par filtrage de Nyquist sans perdre d'informations (nature discrète de l'information numérique)

⇒ connaître lien D_s et bande occupée, débit binaire plus grand si M augmente

Suite : prise en compte du bruit

Canal à bande
limitée



À l'instant d'échantillonnage : $y(t_j) = a_j l(\tau) + \sum_{k \neq j} a_k l(\tau + (j - k)T) + b(jT + \tau)$

=> 2 termes perturbateurs : **l'IES + le bruit**

1) Suppression possible de l'IES en respectant le critère de Nyquist

2) Bruit : le supprimer ? minimiser son influence ?