

Télécommunications

Département sciences du numérique
Première année

Transmissions Bande de Base

Nathalie Thomas, IRIT/ENSEEIHT
Nathalie.Thomas@enseeiht.fr

Télécommunications

Transmissions en bande de base

1) Modulation numérique en bande de Base et notion d'efficacité spectrale

- 1) Définition du modulateur bande de base
- 2) DSP du signal modulé => bande nécessaire à la transmission
- 3) Efficacité spectrale de la transmission

2) Interférences entre symboles et critère de Nyquist

- 1) Problème de l'interférence entre symboles,
- 2) Critère de Nyquist dans le domaine temporel,
- 3) Diagramme de l'œil,
- 4) Critère de Nyquist dans le domaine fréquentiel,
- 5) Impact du canal de propagation

3) Impact du bruit dans la chaîne de transmission et notion d'efficacité en puissance

- 1) Filtrage adapté,
 - 2) Règle de décision,
 - 3) Taux d'erreur symbole et taux d'erreur binaire,
 - 4) Efficacité en puissance de la transmission.
-

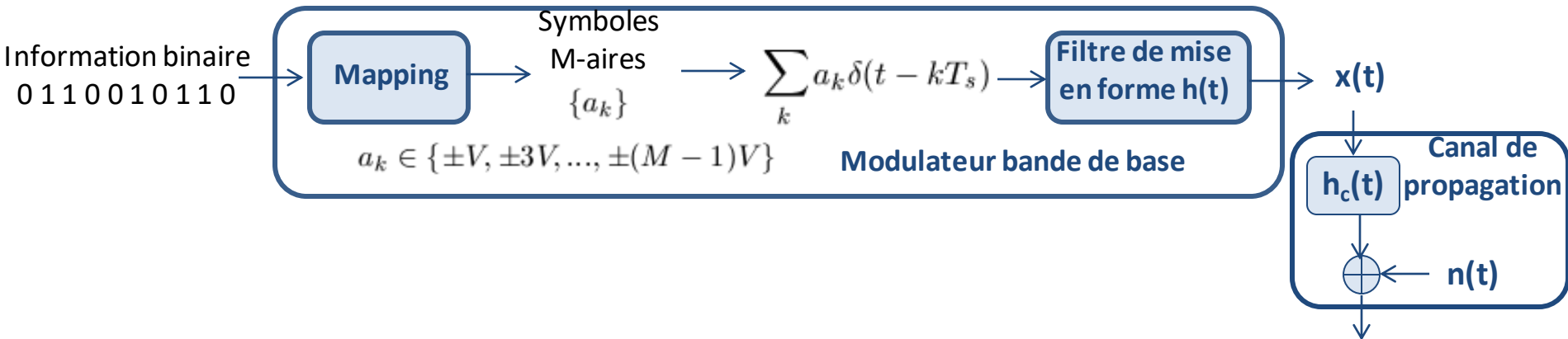
Télécommunications

Transmissions en bande de base

- 1) Modulation numérique en bande de Base et notion d'efficacité spectrale
 - 1) Définition du modulateur bande de base
 - 2) DSP du signal modulé => bande nécessaire à la transmission
 - 3) Efficacité spectrale de la transmission
 - 2) Interférences entre symboles et critère de Nyquist
 - 1) Problème de l'interférence entre symboles,
 - 2) Critère de Nyquist dans le domaine temporel,
 - 3) Diagramme de l'œil,
 - 4) Critère de Nyquist dans le domaine fréquentiel,
 - 5) Impact du canal de propagation
 - 3) Impact du bruit dans la chaîne de transmission et notion d'efficacité en puissance
 - 1) Filtrage adapté,
 - 2) Règle de décision,
 - 3) Taux d'erreur symbole et taux d'erreur binaire,
 - 4) Efficacité en puissance de la transmission.
-

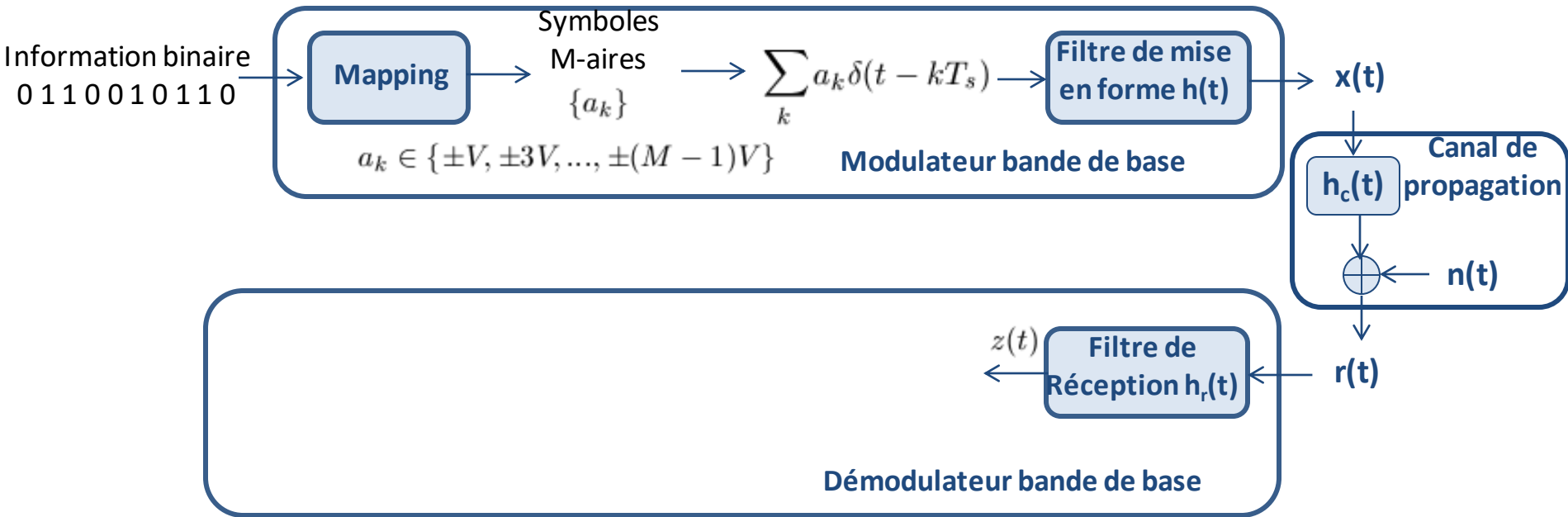
Problème de l'interférence entre symboles

Modulateur bande base - Canal de propagation



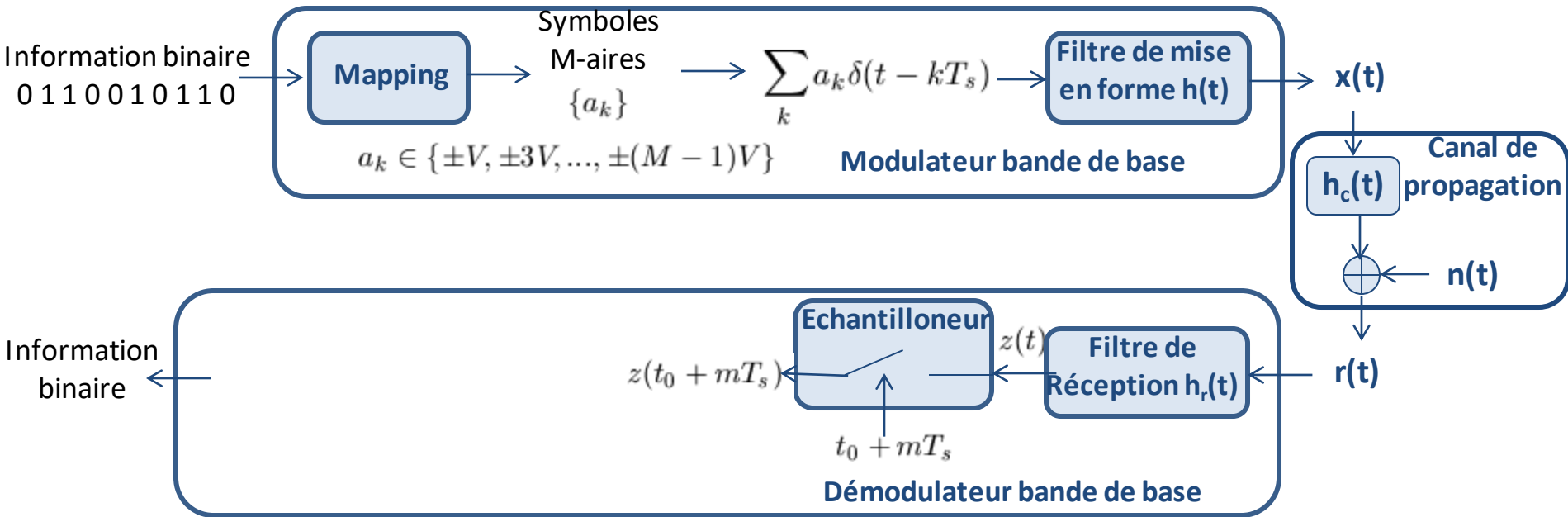
Problème de l'interférence entre symboles

Mise en place du démodulateur bande de base



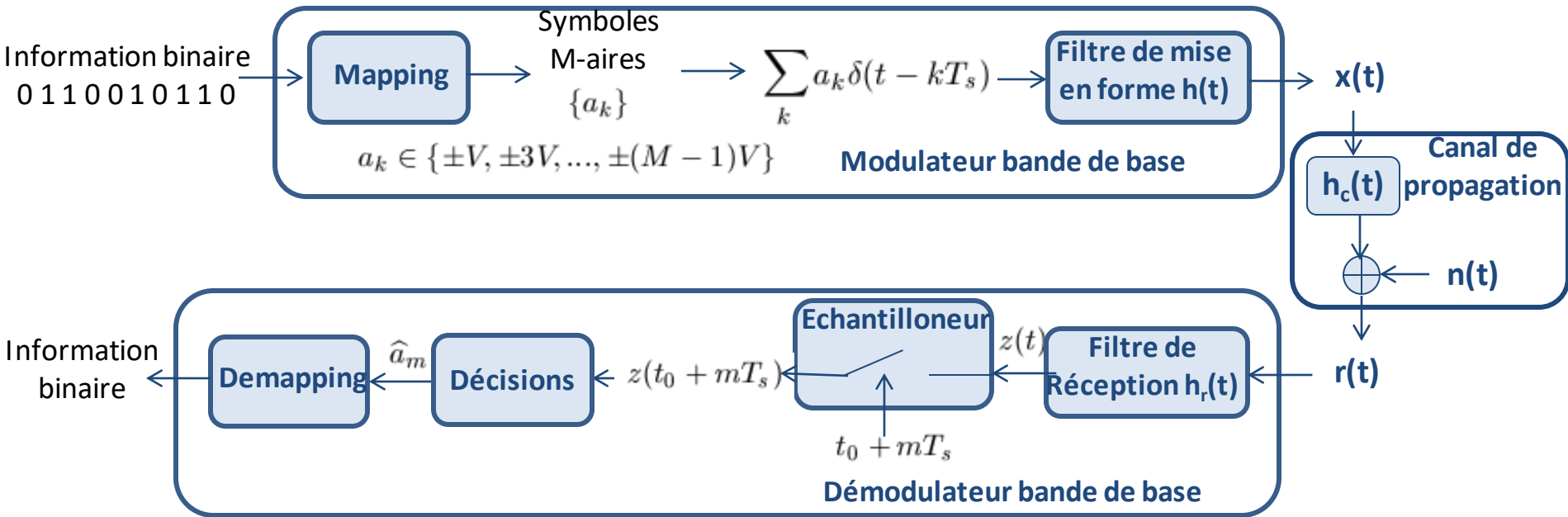
Problème de l'interférence entre symboles

Mise en place du démodulateur bande de base



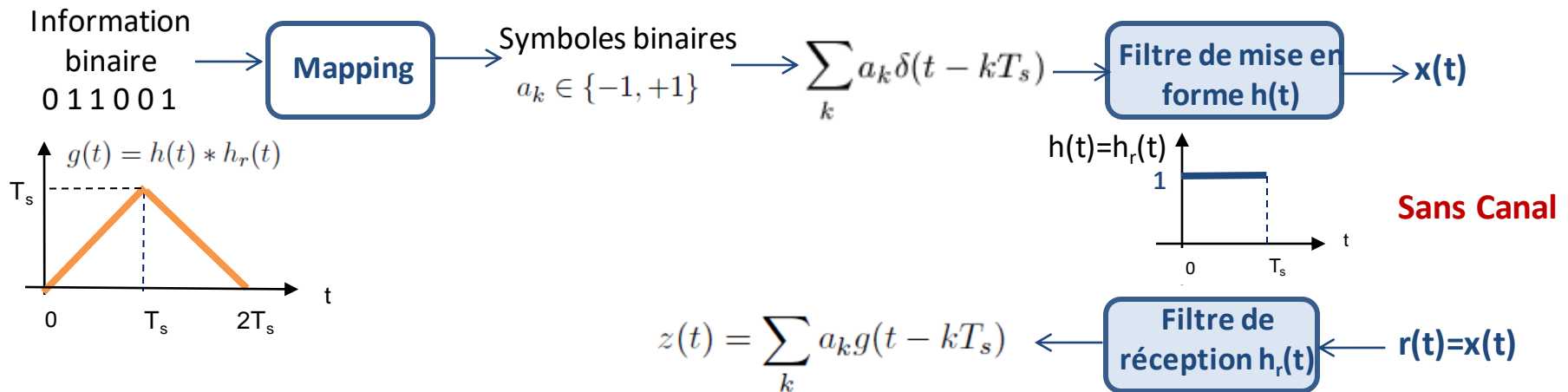
Problème de l'interférence entre symboles

Mise en place du démodulateur bande de base



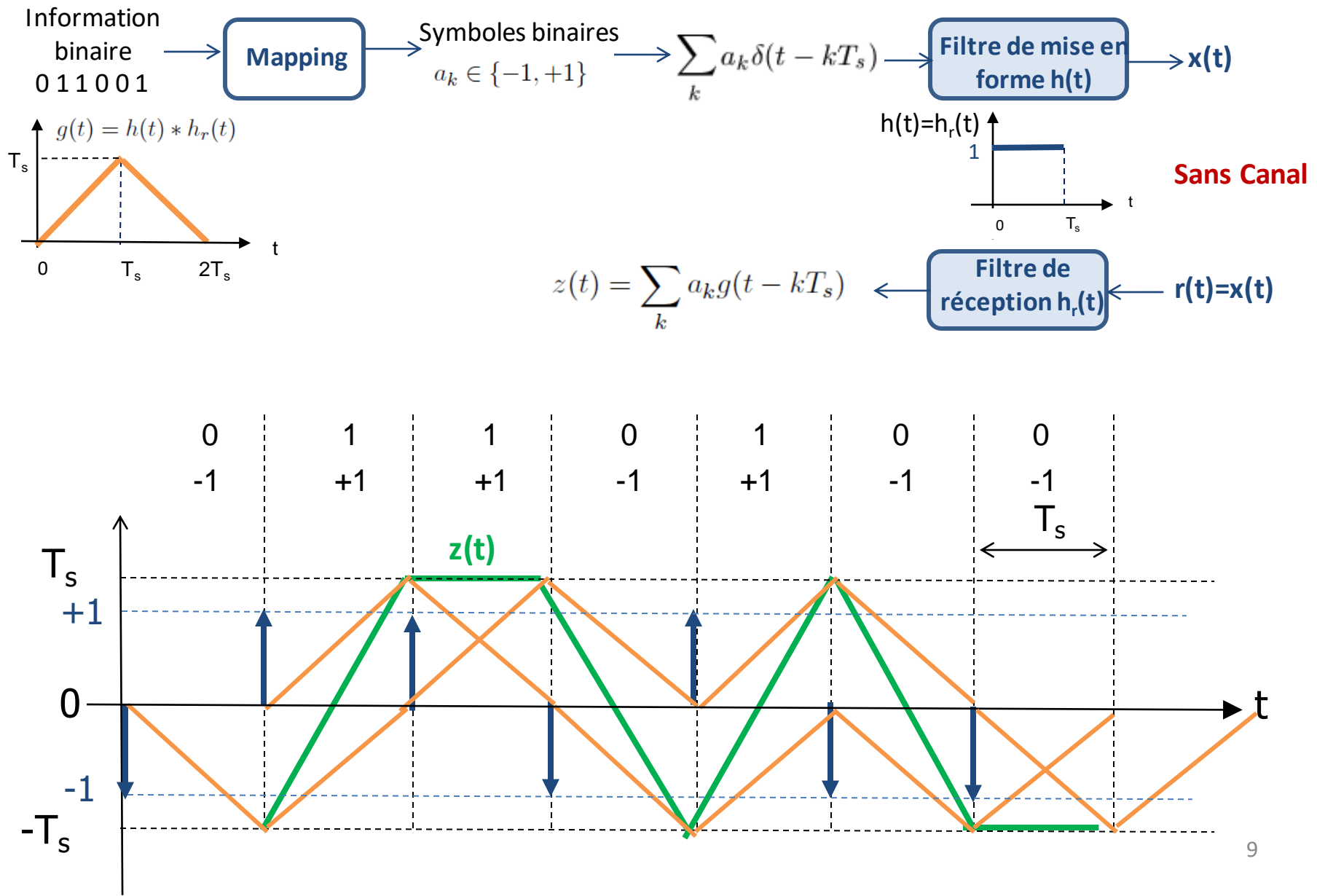
Problème de l'interférence entre symboles

Exemple sans canal – Tracé de $z(t)$



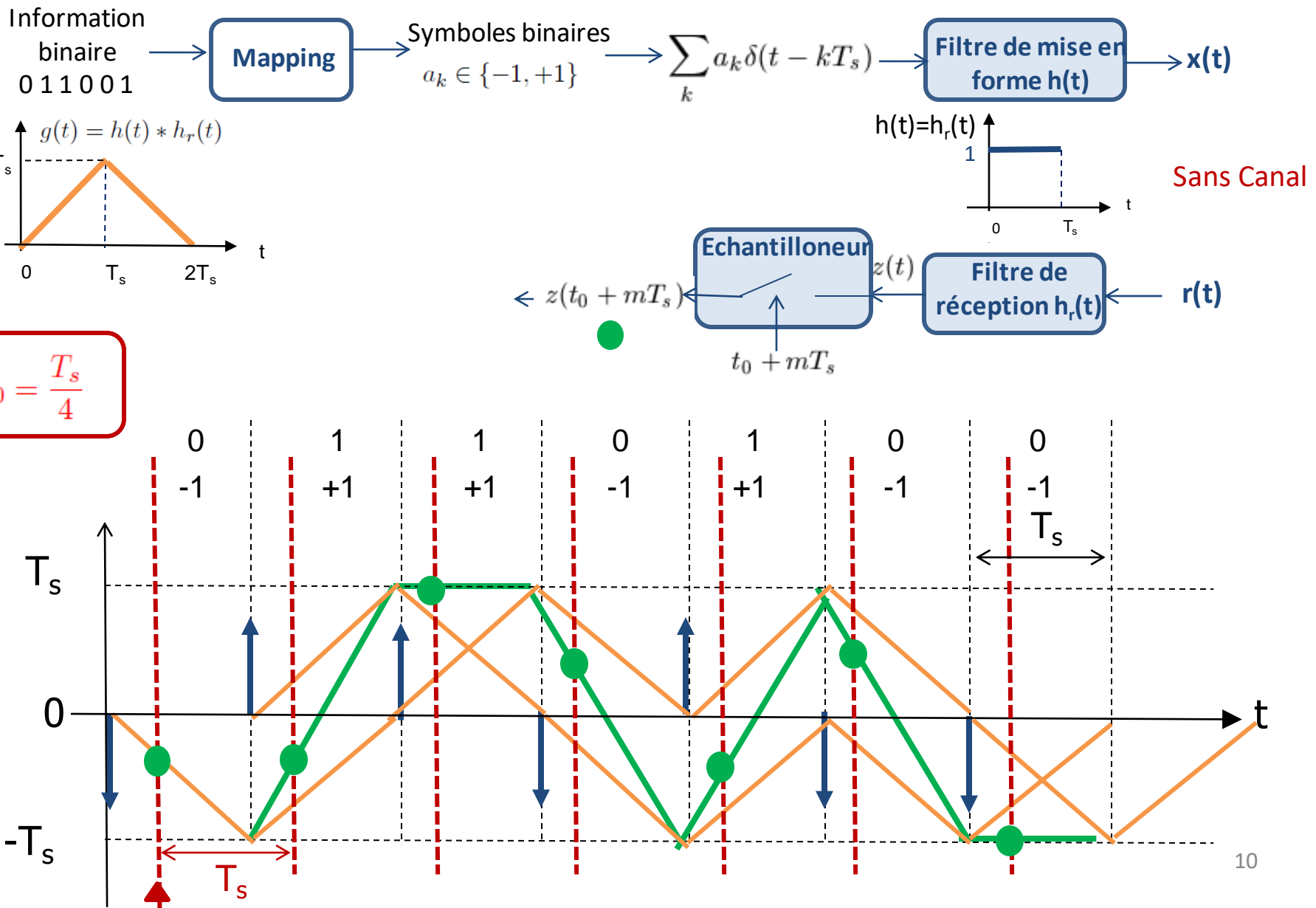
Le problème de l'interférence entre symboles

Exemple sans canal – Tracé de $z(t)$

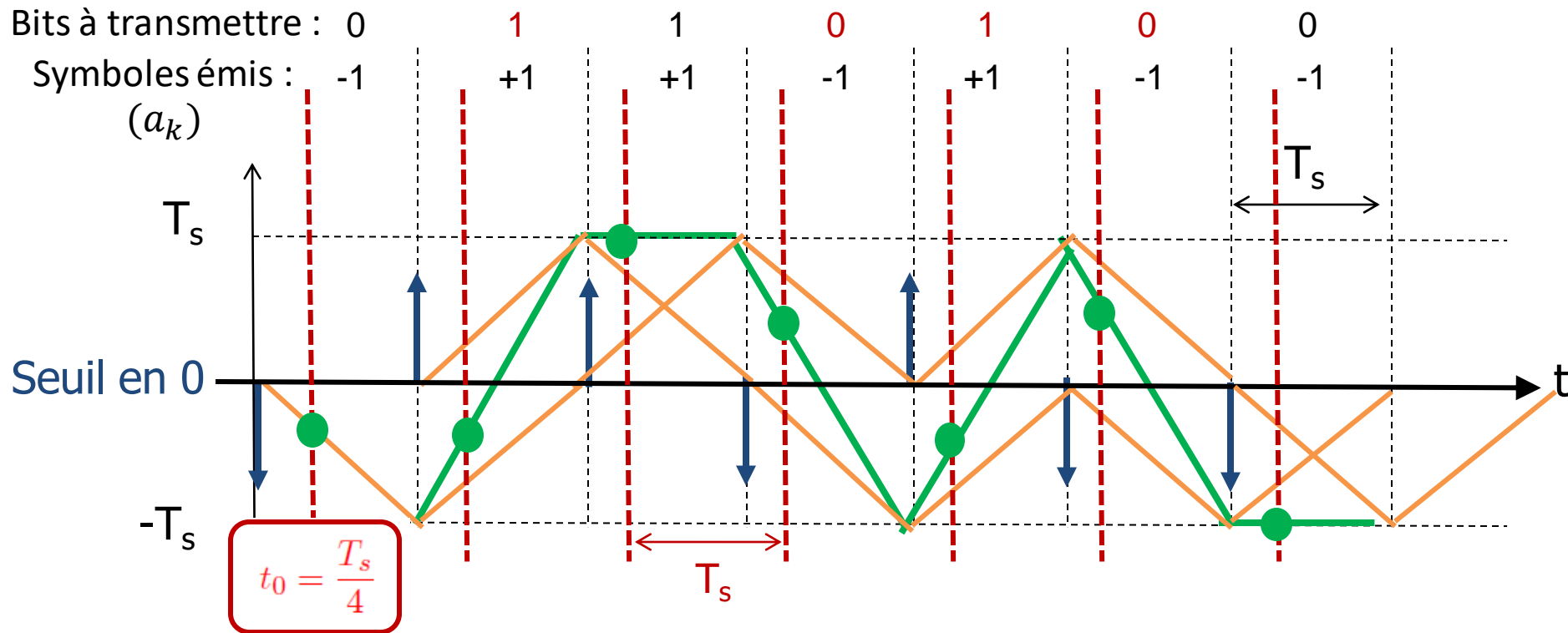


Le problème de l'interférence entre symboles

Exemple sans canal – Echantillonnage



Exemple sans canal – Décisions



Symboles décidés : -1
 (\hat{a}_k)
 Bits décidés: 0



Le problème de l'interférence entre symboles

Exemple sans canal – Décisions

Bits à transmettre : 0

1

1

0

1

0

0

Symboles émis : -1

+1

+1

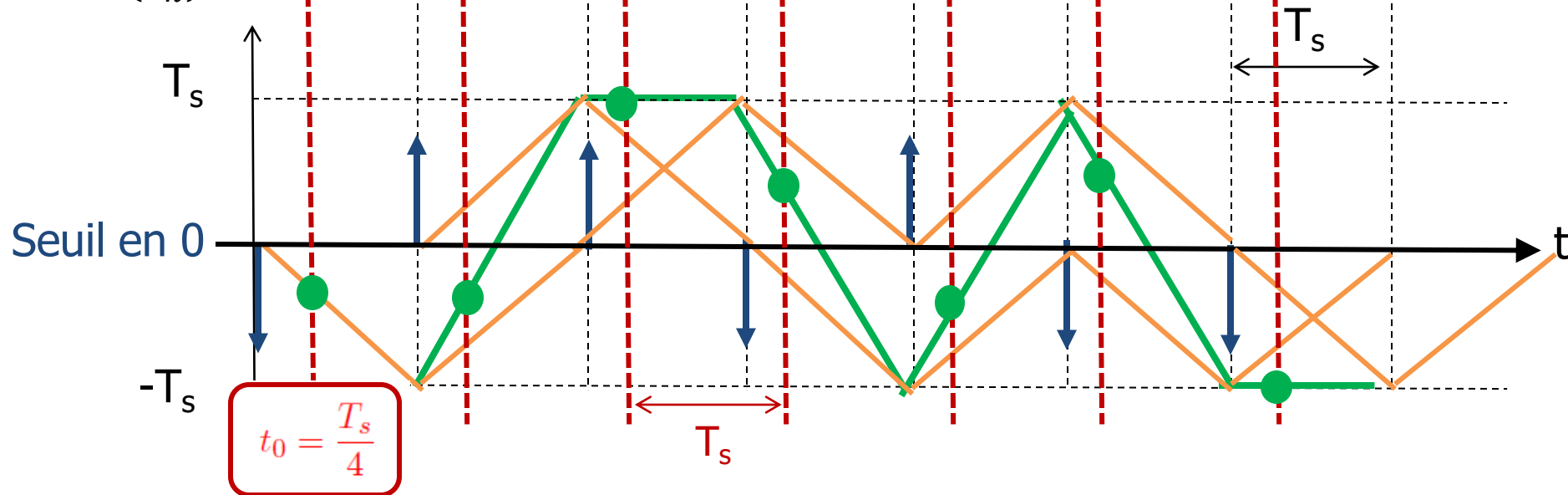
-1

+1

-1

-1

(a_k)



Symboles décidés : -1

-1

(\hat{a}_k)

Bits décidés:

0

0



Le problème de l'interférence entre symboles

Exemple sans canal – Décisions

Bits à transmettre : 0

1

1

0

1

0

0

Symboles émis : -1

+1

+1

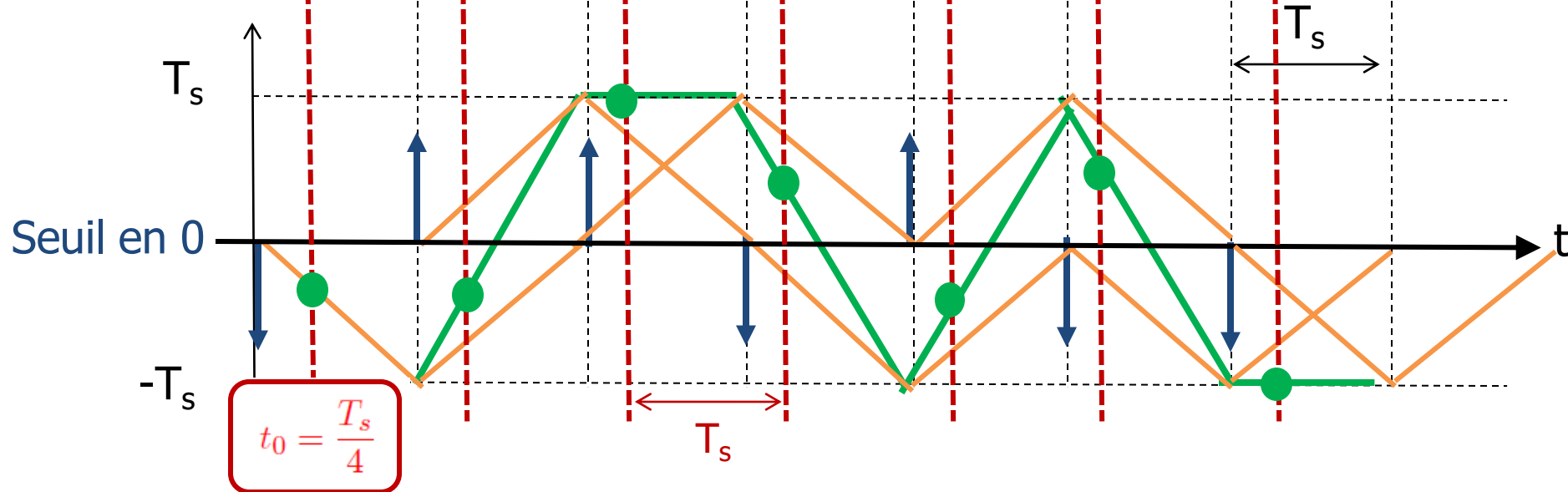
-1

+1

-1

-1

(a_k)



Symboles décidés : -1

-1

+1

(\hat{a}_k)

Bits décidés:

0

0

1



Le problème de l'interférence entre symboles

Exemple sans canal – Décisions

Bits à transmettre : 0

1

1

0

1

0

0

Symboles émis : -1

+1

+1

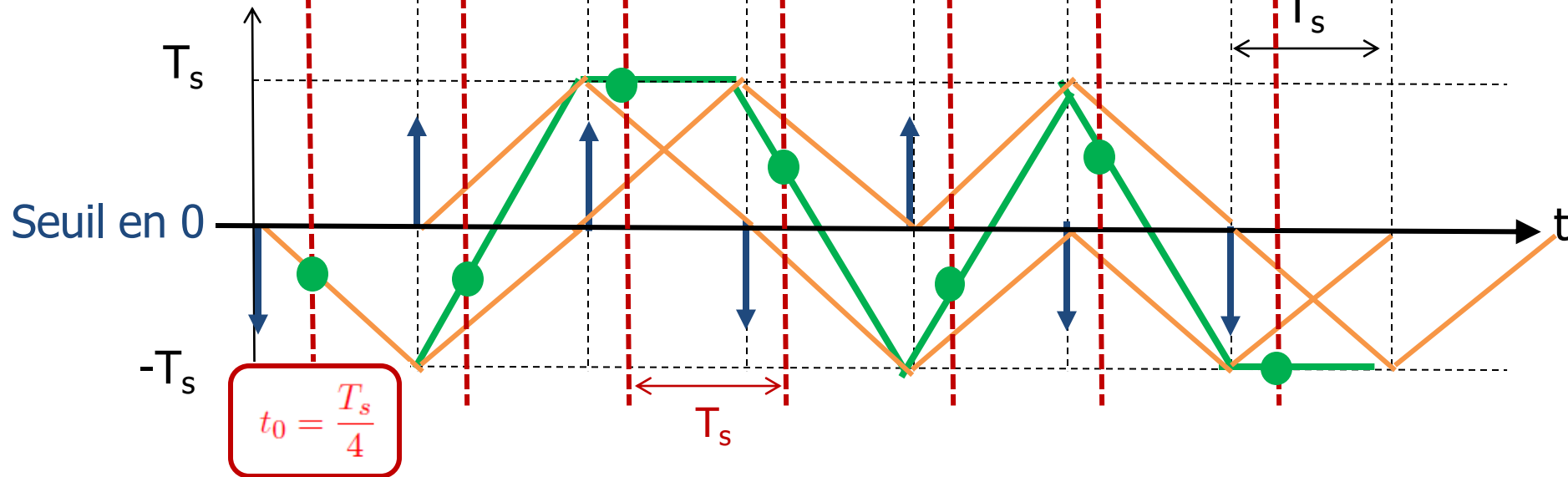
-1

+1

-1

-1

(a_k)



Symboles décidés : -1

-1

+1

+1

(\hat{a}_k)

Bits décidés:

0

0

1

1

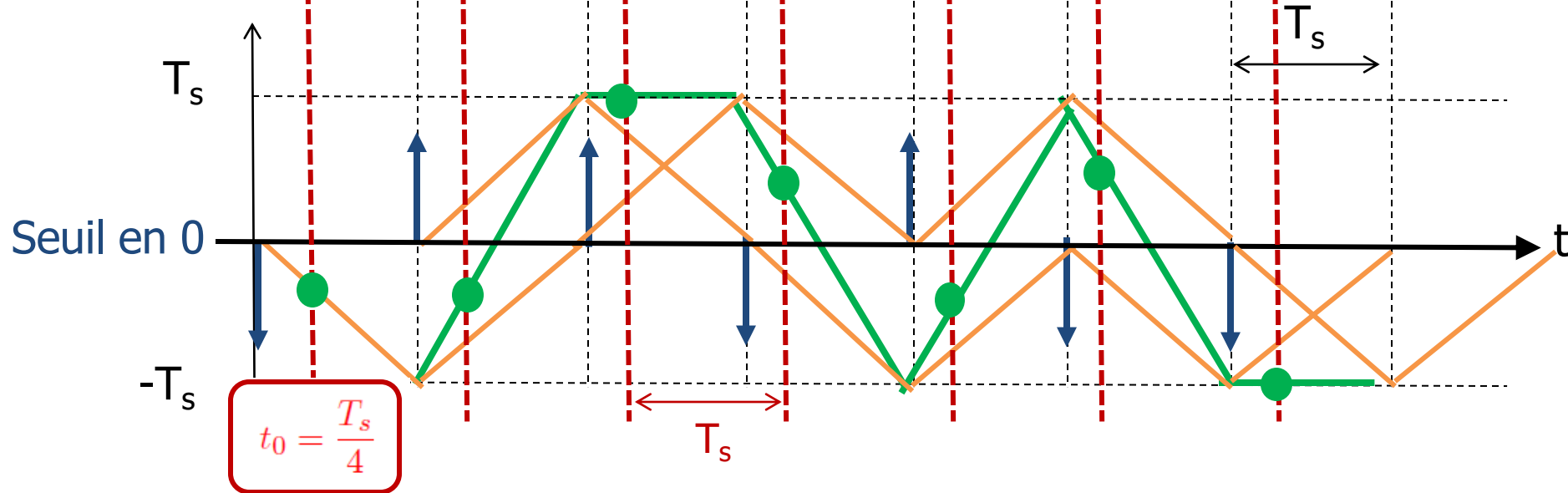


Le problème de l'interférence entre symboles

Exemple sans canal – Décisions

Bits à transmettre : 0

Symboles émis : -1
(a_k)



Symboles décidés : -1

(\hat{a}_k)

Bits décidés:



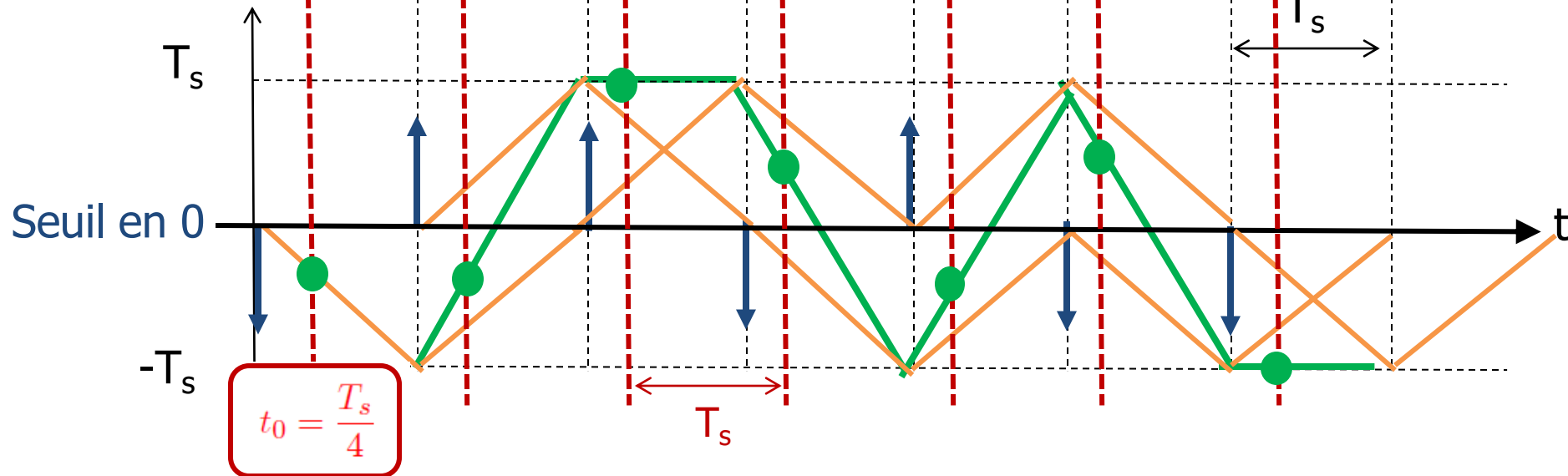
Le problème de l'interférence entre symboles

Exemple sans canal – Décisions

Bits à transmettre : 0

Symboles émis : -1

(a_k)



Symboles décidés : -1

-1

+1

+1

-1

+1

(\hat{a}_k)

Bits décidés:

0

0

1

1

0

1

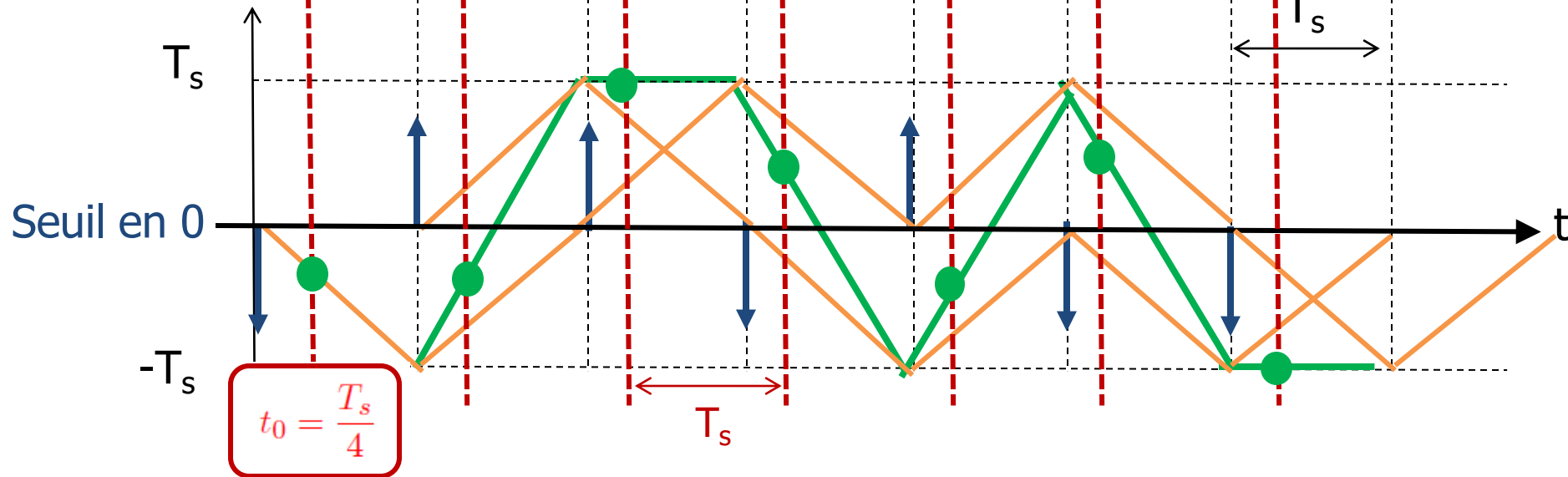


Le problème de l'interférence entre symboles

Exemple sans canal – Décisions

Bits à transmettre : 0

Symboles émis : -1
(a_k)



Symboles décidés : -1

(\hat{a}_k)

Bits décidés:



Télécommunications

Transmissions en bande de base

1) Modulation numérique en bande de Base et notion d'efficacité spectrale

- 1) Définition du modulateur bande de base
- 2) DSP du signal modulé => bande nécessaire à la transmission
- 3) Efficacité spectrale de la transmission

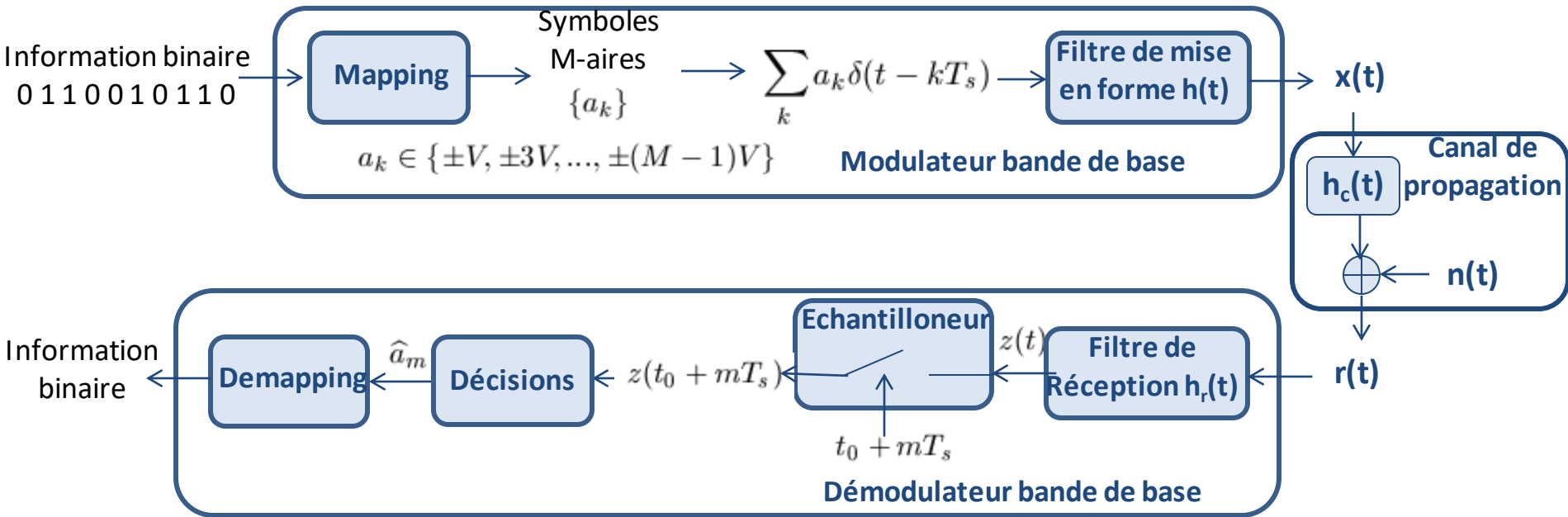
2) Interférences entre symboles et critère de Nyquist

- 1) Problème de l'interférence entre symboles,
- 2) Critère de Nyquist dans le domaine temporel,
- 3) Diagramme de l'œil,
- 4) Critère de Nyquist dans le domaine fréquentiel,
- 5) Impact du canal de propagation

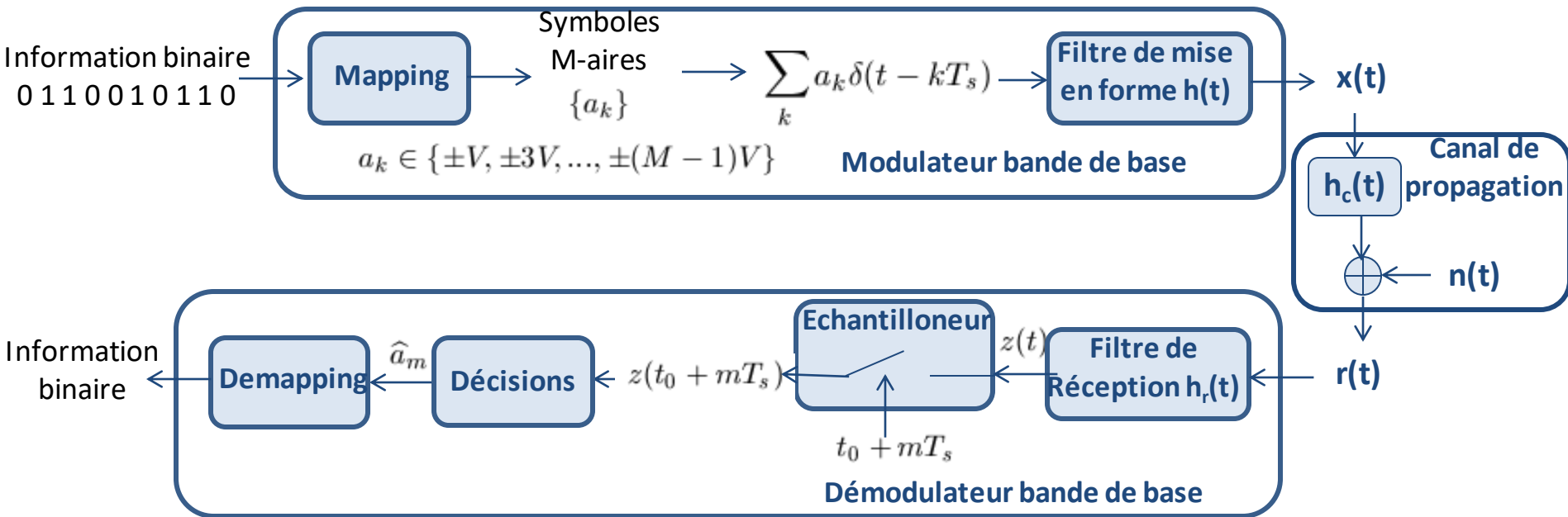
3) Impact du bruit dans la chaîne de transmission et notion d'efficacité en puissance

- 1) Filtrage adapté,
 - 2) Règle de décision,
 - 3) Taux d'erreur symbole et taux d'erreur binaire,
 - 4) Efficacité en puissance de la transmission.
-

Critère de Nyquist dans le domaine temporel



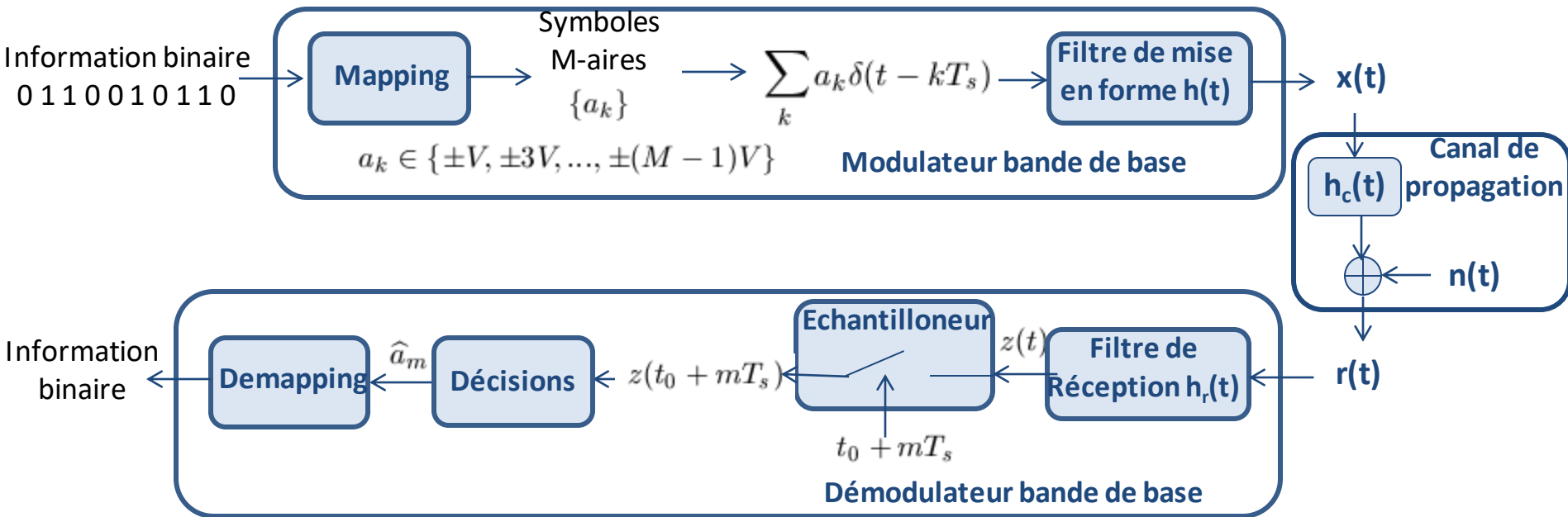
Critère de Nyquist dans le domaine temporel



$$z(t_0 + mT_s) = a_m g(t_0) + \sum_{k \neq m} a_k g(t_0 + (m - k)T_s) + w(t_0 + mT_s)$$

$$g(t) = h(t) * h_c(t) * h_r(t)$$

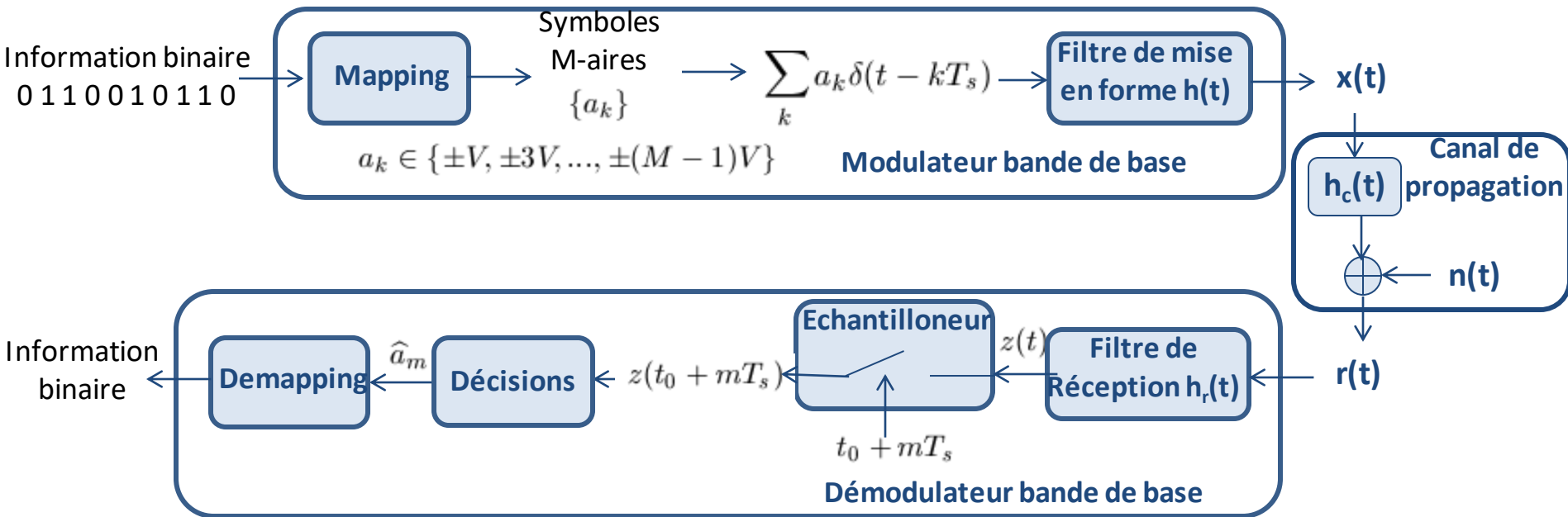
Critère de Nyquist dans le domaine temporel



$$z(t_0 + mT_s) = \underbrace{a_m g(t_0)}_{\text{Terme utile}} + \underbrace{\sum_{k \neq m} a_k g(t_0 + (m - k)T_s)}_{\text{ISI (Inter Symbol Interference)}} + \underbrace{w(t_0 + mT_s)}_{\text{Bruit (filtré et échantillonné)}}$$

$$g(t) = h(t) * h_c(t) * h_r(t)$$

Critère de Nyquist dans le domaine temporel



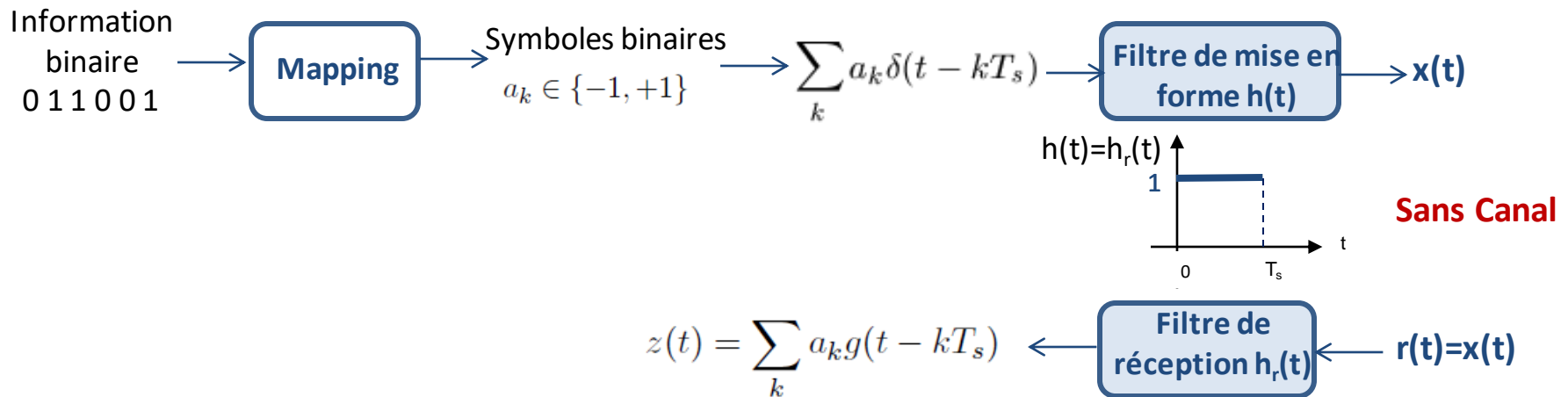
$$z(t_0 + mT_s) = \underbrace{a_m g(t_0)}_{\text{Terme utile}} + \underbrace{\sum_{k \neq m} a_k g(t_0 + (m - k)T_s)}_{\text{ISI (Inter Symbol Interference)}} + \underbrace{w(t_0 + mT_s)}_{\text{Bruit (filtré et échantillonné)}}$$

$$g(t) = h(t) * h_c(t) * h_r(t)$$

$$\text{ISI} = 0 \iff \begin{cases} g(t_0) \neq 0 \\ g(t_0 + pT_s) = 0 \text{ for } p \in \mathbb{Z}^* \end{cases} \quad \text{Critère de Nyquist}$$

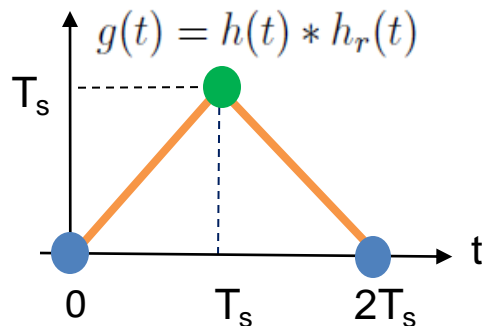
Critère de Nyquist dans le domaine temporel

Exemple



$$ISI = 0 \iff \begin{cases} g(t_0) \neq 0 \\ g(t_0 + pT_s) = 0 \text{ for } p \in \mathbb{Z}^* \end{cases}$$

Critère de Nyquist



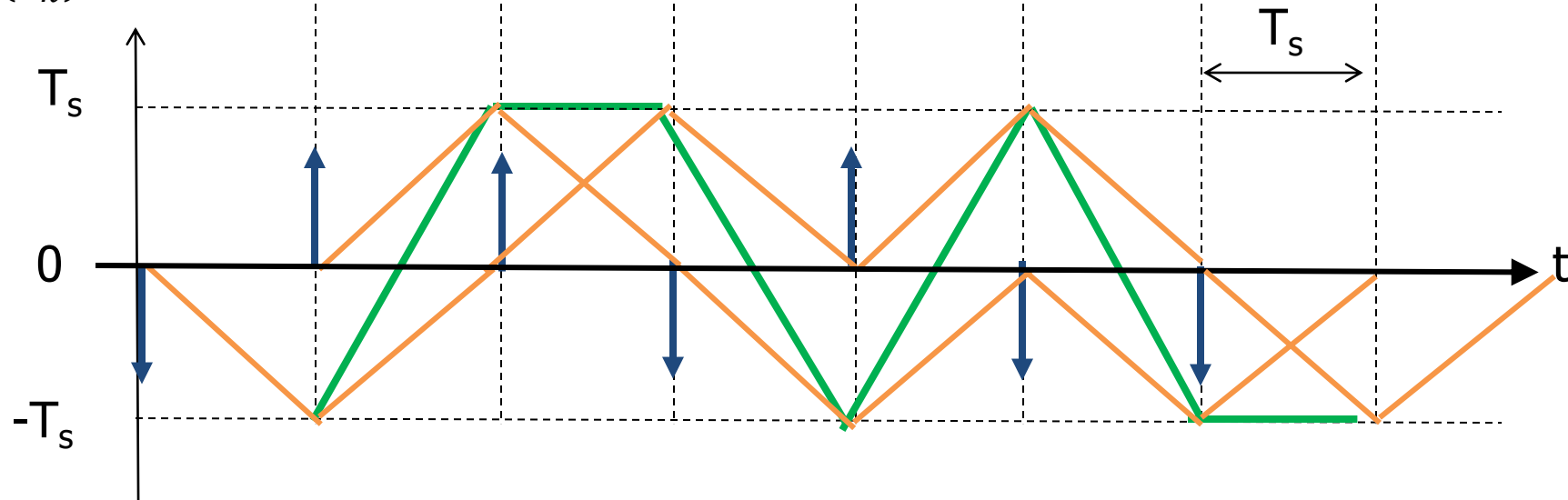
Le critère de Nyquist est satisfait pour $t_0 = T_s$

$$\begin{aligned} g(t_0) &= T_s \\ g(t_0 + T_s) &= g(2T_s) = 0 \\ g(t_0 - T_s) &= g(0) = 0 \end{aligned}$$

Example

Bits à transmettre : 0

Symboles émis : -1

$$(a_k)$$


Critère de Nyquist dans le domaine temporel

Exemple

Bits à transmettre : 0

1

1

0

1

0

0

Symboles émis : -1

+1

+1

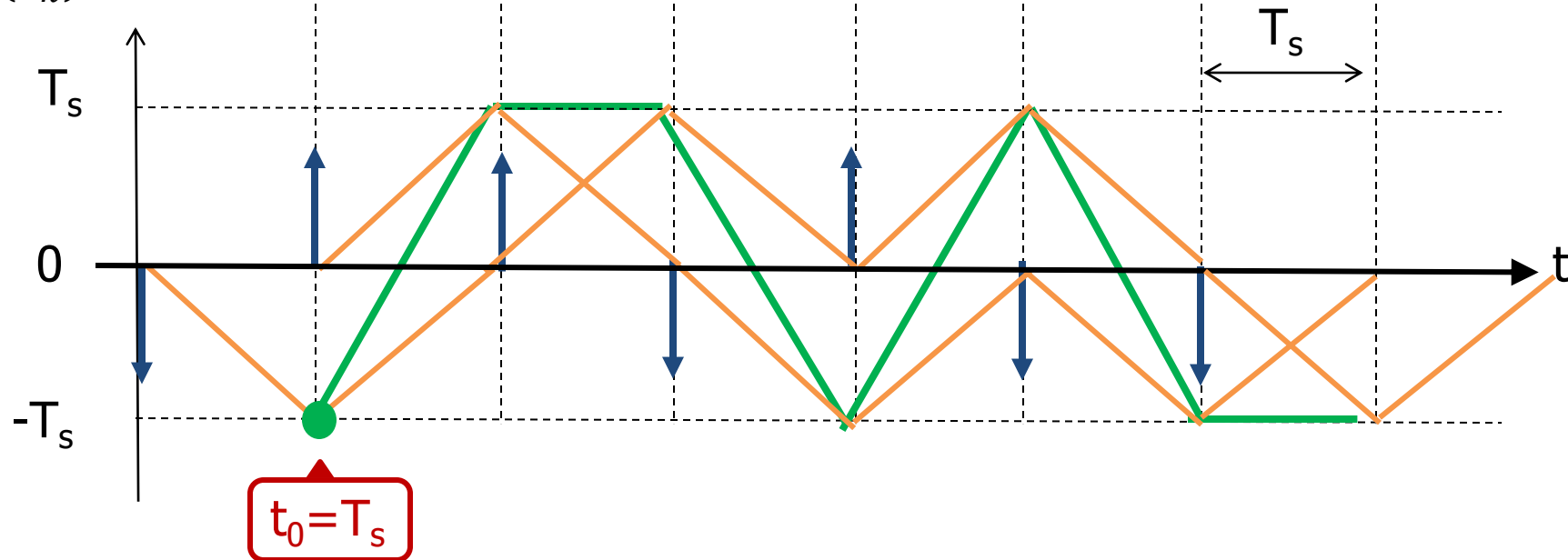
-1

+1

-1

-1

(a_k)



Critère de Nyquist dans le domaine temporel

Exemple

Bits à transmettre : 0

1

1

0

1

0

0

Symboles émis : -1

+1

+1

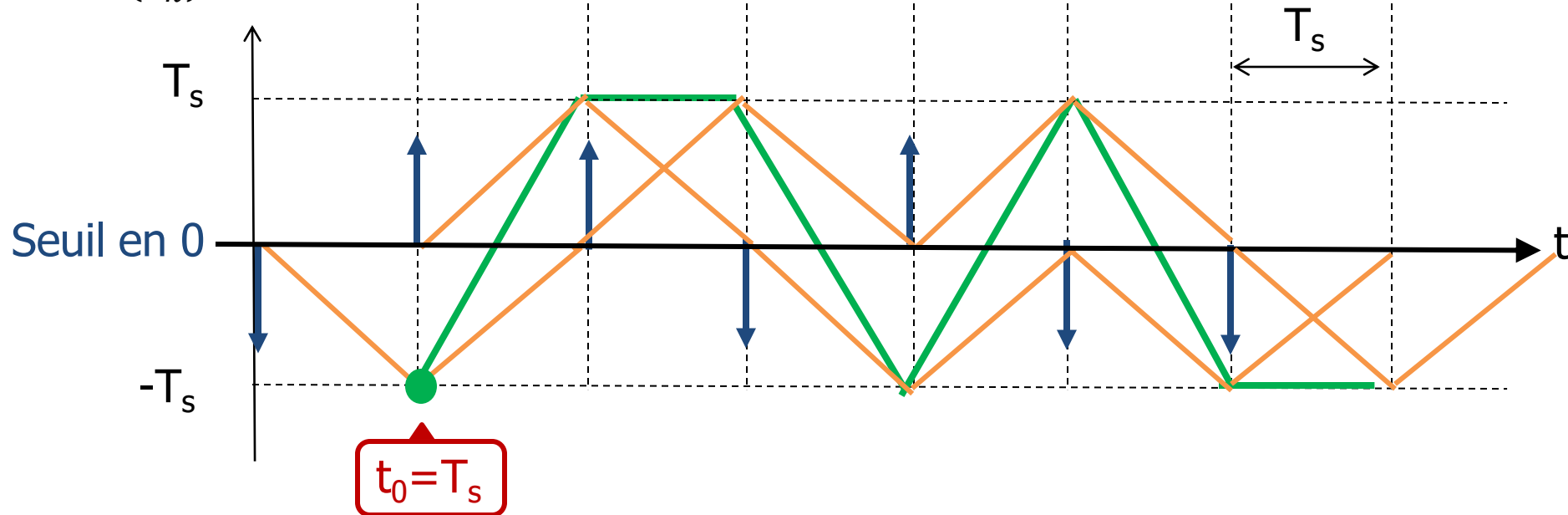
-1

+1

-1

-1

(a_k)



Symboles décidés :

-1

(\hat{a}_k)

Bits décidés:

0



Critère de Nyquist dans le domaine temporel

Exemple

Bits à transmettre : 0

1

1

0

1

0

0

Symboles émis : -1

+1

+1

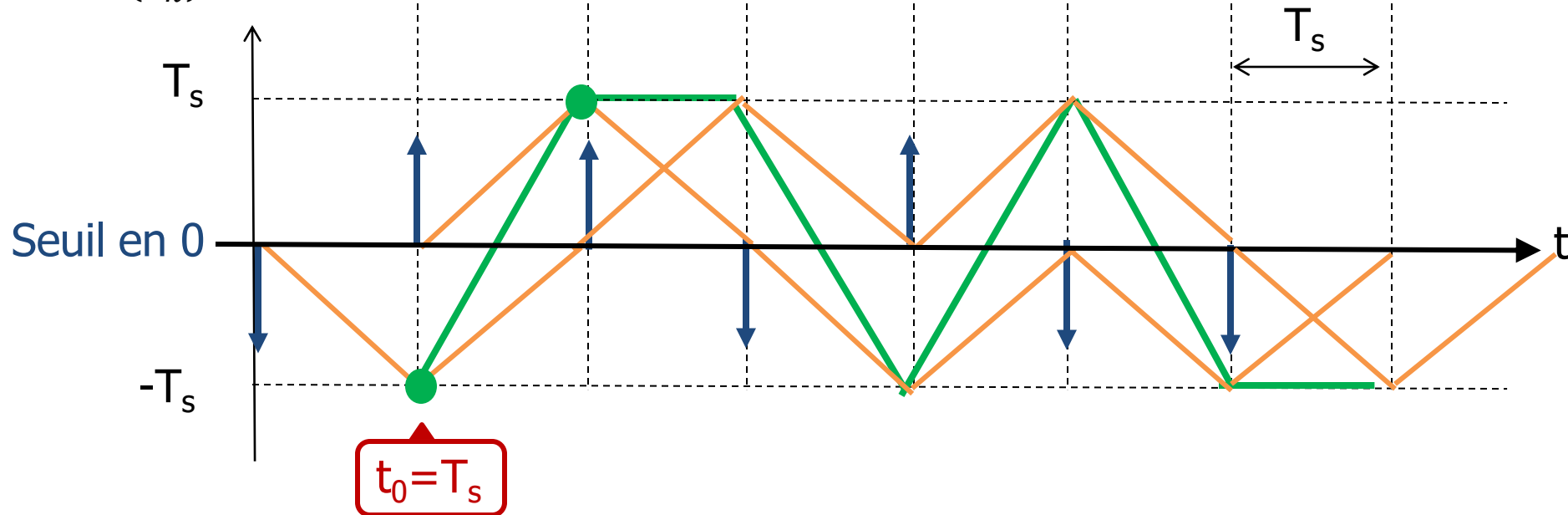
-1

+1

-1

-1

(a_k)



Symboles décidés :

-1

+1

(\hat{a}_k)

Bits décidés:

0

1



Critère de Nyquist dans le domaine temporel

Exemple

Bits à transmettre : 0

1

1

0

1

0

0

Symboles émis : -1

+1

+1

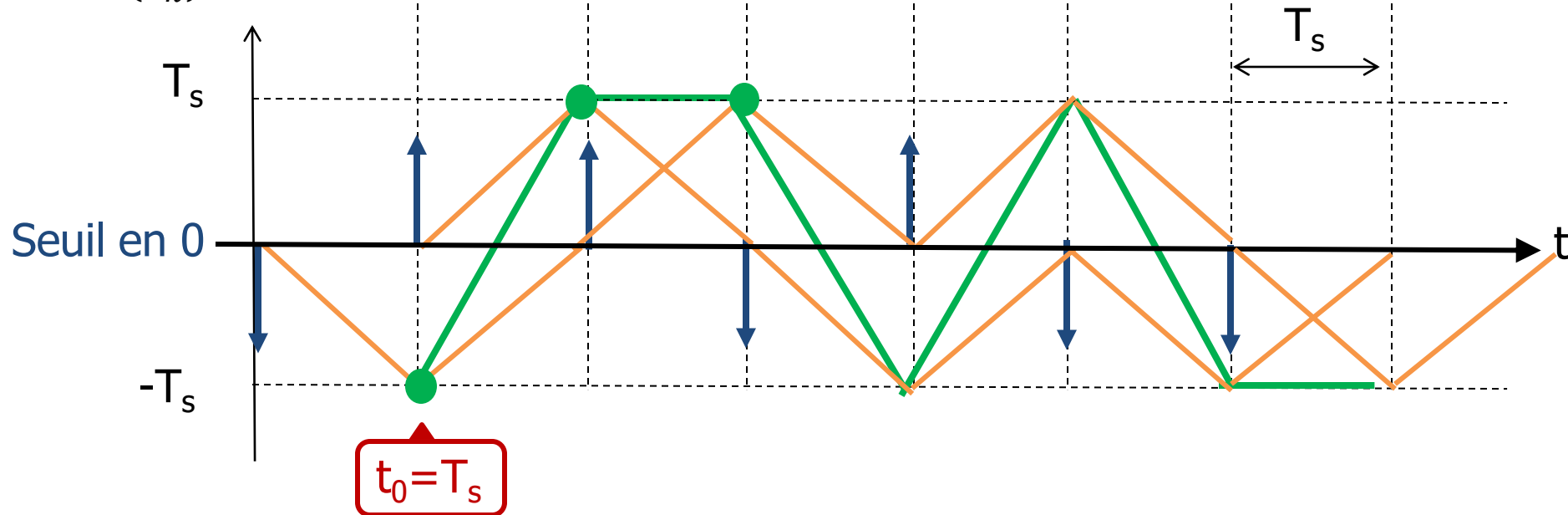
-1

+1

-1

-1

(a_k)



Symboles décidés :

-1

+1

+1

(\hat{a}_k)

Bits décidés:

0

1

1



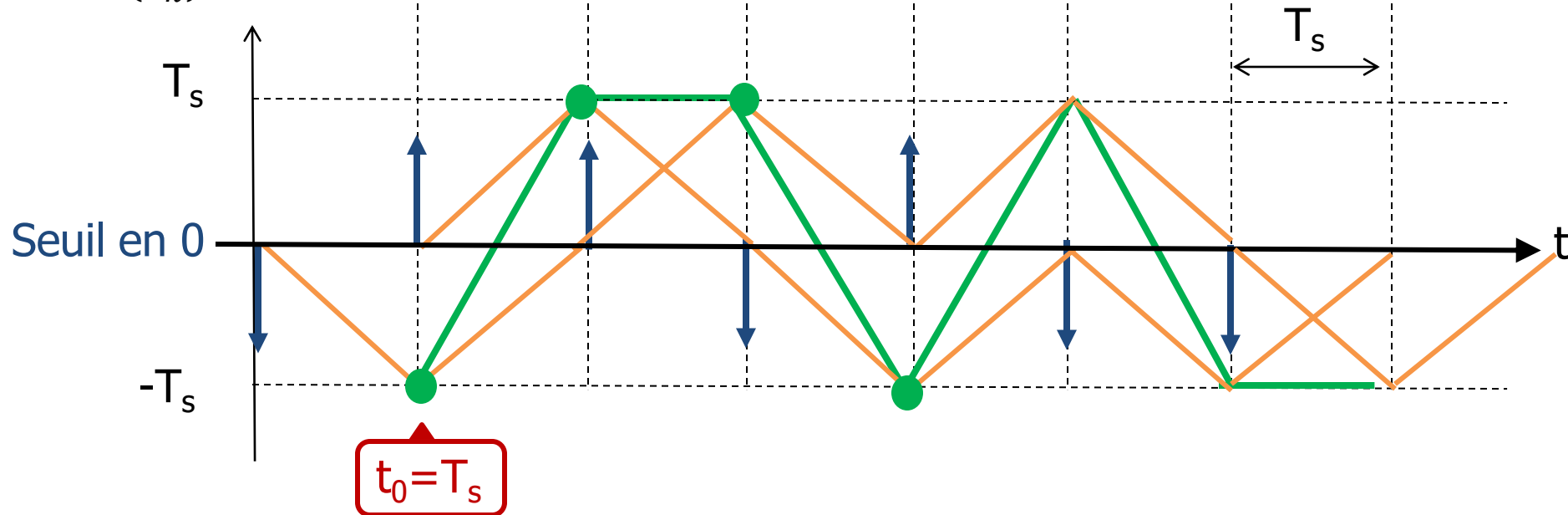
Critère de Nyquist dans le domaine temporel

Exemple

Bits à transmettre : 0 1 1 0 1 0 0

Symboles émis : -1 +1 +1 -1 +1 -1 -1

(a_k)



Symboles décidés :

-1

+1

+1

-1

(\hat{a}_k)

Bits décidés:

0

1

1

0



Critère de Nyquist dans le domaine temporel

Exemple

Bits à transmettre : 0

1

1

0

1

0

0

Symboles émis : -1

+1

+1

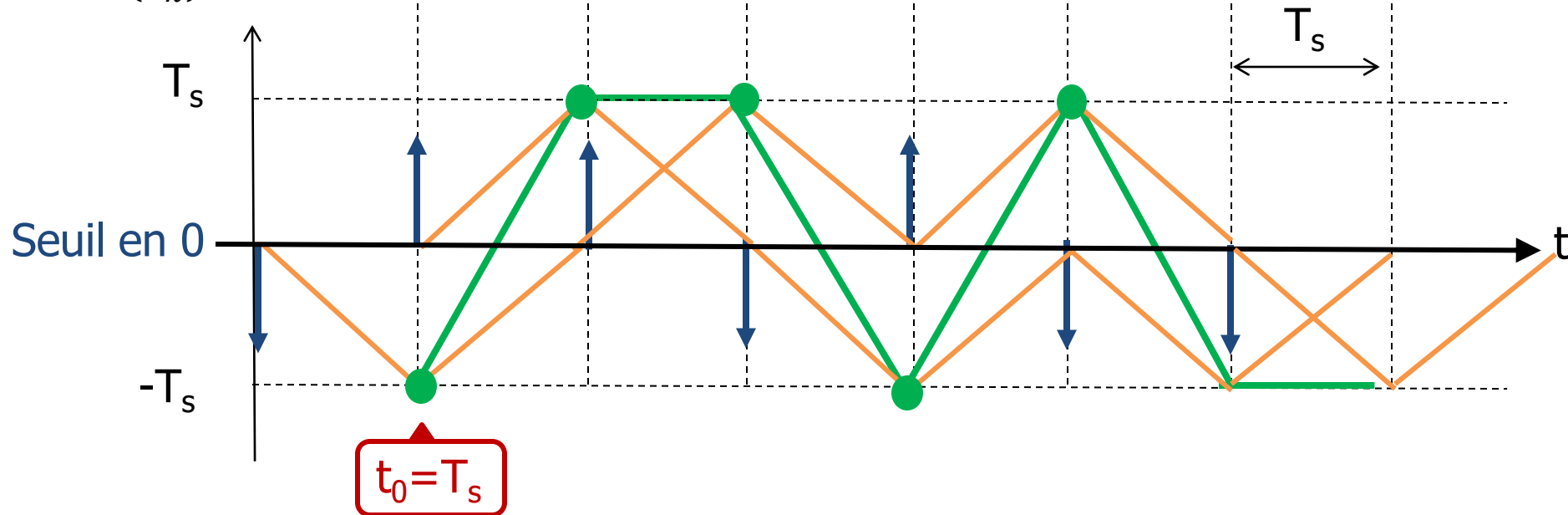
-1

+1

-1

-1

(a_k)



Symboles décidés :

-1

+1

+1

-1

+1

(\hat{a}_k)

Bits décidés:

0

1

1

0

1



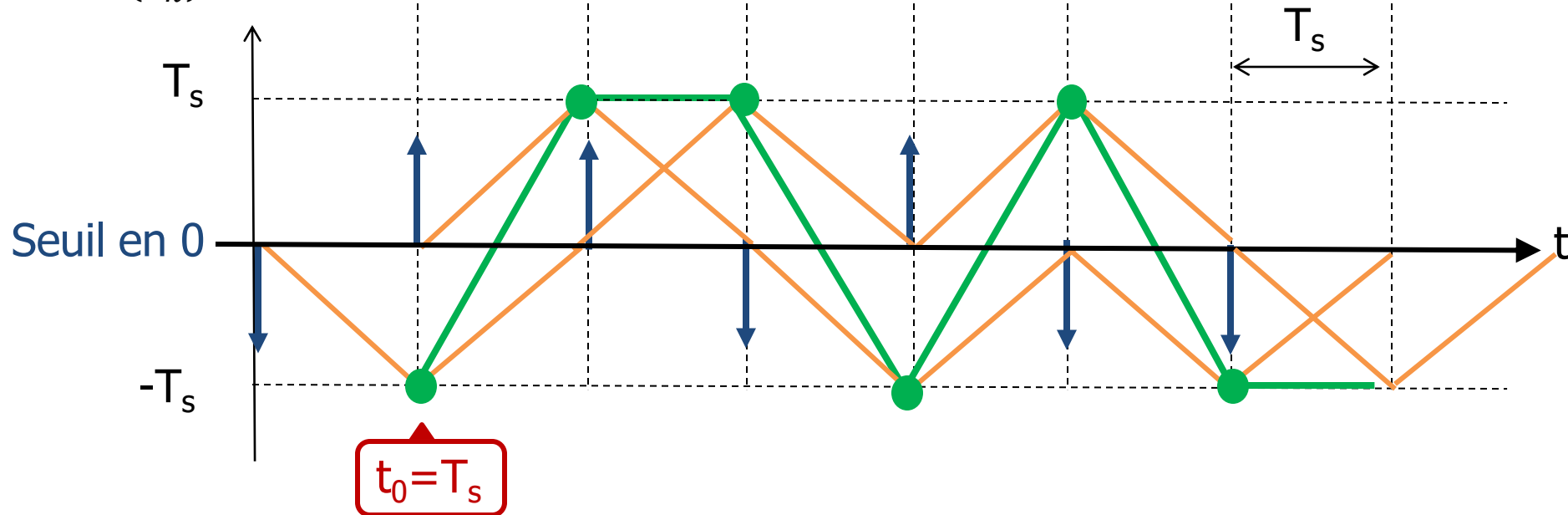
Critère de Nyquist dans le domaine temporel

Exemple

Bits à transmettre : 0 1 1 0 1 0 0

Symboles émis : -1 +1 +1 -1 +1 -1 -1

(a_k)



Symboles décidés :

-1

+1

+1

-1

+1

-1

(\hat{a}_k)

Bits décidés:

0

1

1

0

1

0



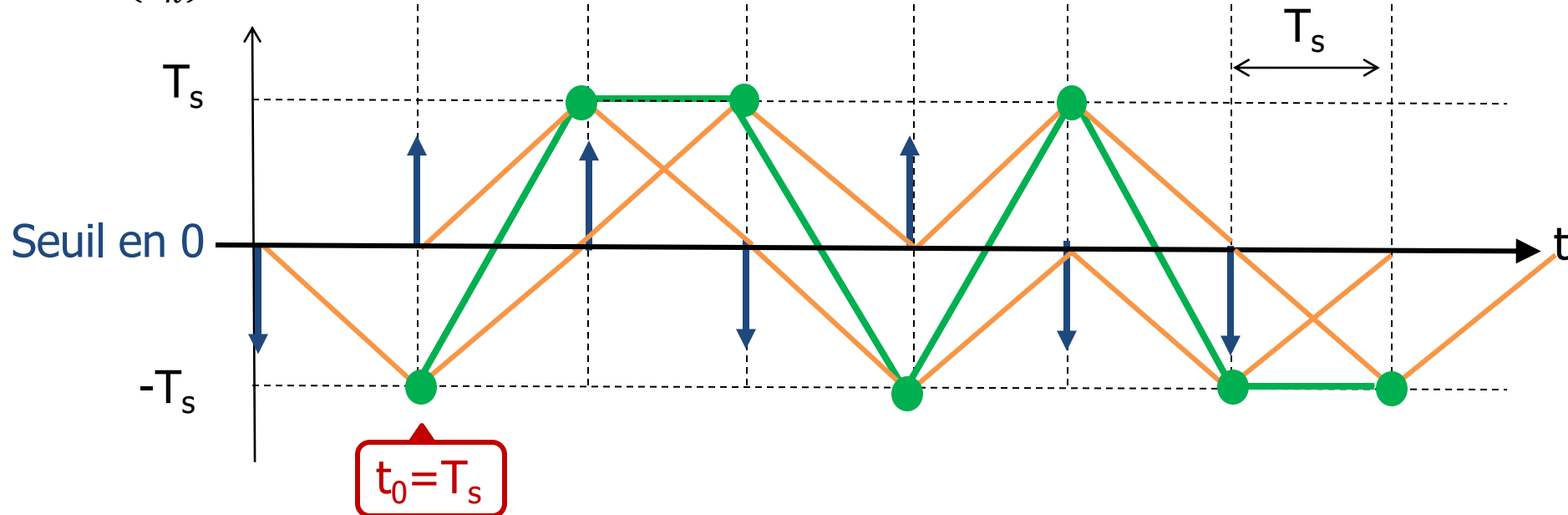
Critère de Nyquist dans le domaine temporel

Exemple

Bits à transmettre : 0 1 1 0 1 0 0

Symboles émis : -1 +1 +1 -1 +1 -1 -1

(a_k)



Symboles décidés :

-1

+1

+1

-1

+1

-1

-1

(\hat{a}_k)

Bits décidés:

0

1

1

0

1

0

0

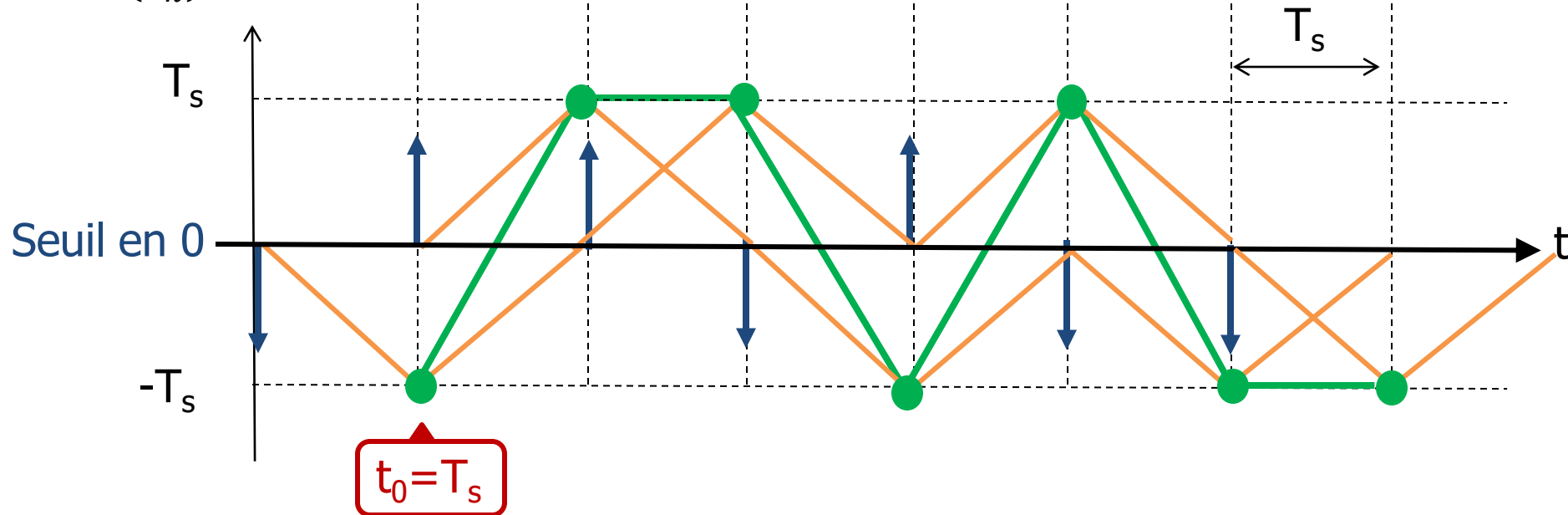


Critère de Nyquist dans le domaine temporel

Exemple

Bits à transmettre : 0 1 1 0 1 0 0

Symboles émis : -1 +1 +1 -1 +1 -1 -1
(a_k)



Symboles décidés :
(\hat{a}_k)

-1 +1 +1 -1 +1 -1 -1

Bits décidés:

0 1 1 0 1 0 0



TEB=0

Accès Wooclap pour les questions



- 1 Allez sur wooclap.com
- 2 Entrez le code d'événement dans le bandeau supérieur

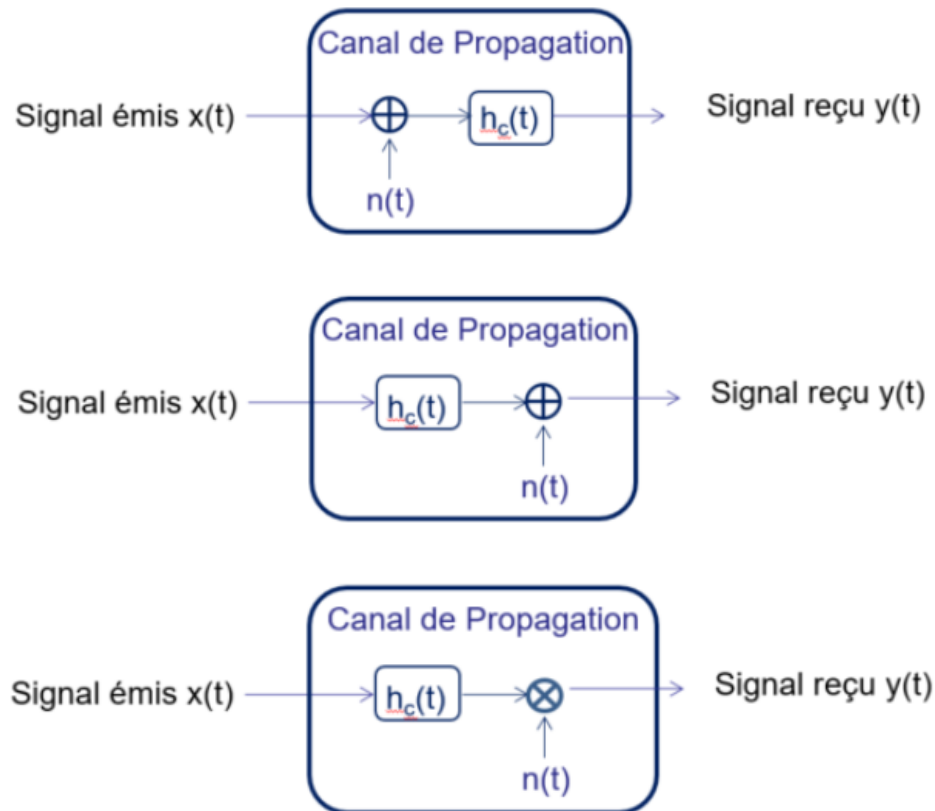
Code d'événement
NYQUIST



- 1 Envoyez **@NYQUIST** au **06 44 60 96 62**
- 2 Vous pouvez participer

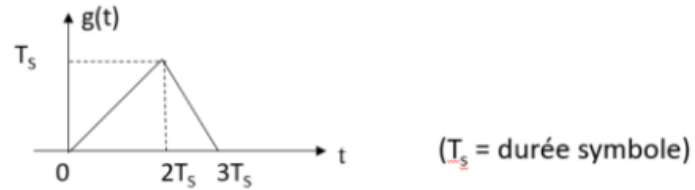
QUESTION 11

Le canal de propagation entre l'émetteur et le récepteur peut être modélisé par



QUESTION 12

Soit $g(t)=h(t)*h_c(t)*h_r(t)$ la réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission :



Avec $g(t)=h(t)*h_c(t)*h_r(t)$ réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission donnée dans la figure, la chaîne de transmission :

① Respecte le critère de Nyquist

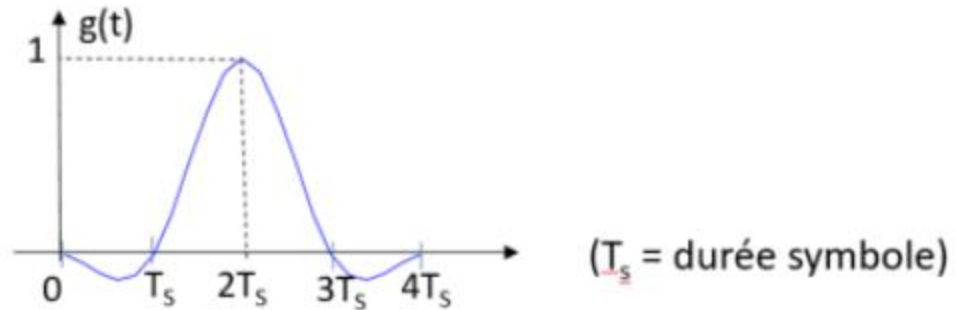
③ Ne peut pas respecter le critère de Nyquist

② Peut respecter le critère de Nyquist

④ Pas assez d'éléments pour répondre à la question

QUESTION 13

Soit $g(t)=h(t)*h_c(t)*h_r(t)$ la réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission :



Avec $g(t)=h(t)*h_c(t)*h_r(t)$ réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission donnée dans la figure, la chaîne de transmission :

- ① Respecte le critère de Nyquist
- ② Peut respecter le critère de Nyquist
- ③ Ne peut pas respecter le critère de Nyquist
- ④ Pas assez d'éléments pour répondre à la question

Télécommunications

Transmissions en bande de base

1) Modulation numérique en bande de Base et notion d'efficacité spectrale

- 1) Définition du modulateur bande de base
- 2) DSP du signal modulé => bande nécessaire à la transmission
- 3) Efficacité spectrale de la transmission

2) Interférences entre symboles et critère de Nyquist

- 1) Problème de l'interférence entre symboles,
- 2) Critère de Nyquist dans le domaine temporel,
- 3) Diagramme de l'œil,
- 4) Critère de Nyquist dans le domaine fréquentiel,
- 5) Impact du canal de propagation

3) Impact du bruit dans la chaîne de transmission et notion d'efficacité en puissance

- 1) Filtrage adapté,
 - 2) Règle de décision,
 - 3) Taux d'erreur symbole et taux d'erreur binaire,
 - 4) Efficacité en puissance de la transmission.
-

Diagramme de l'oeil

Exemple

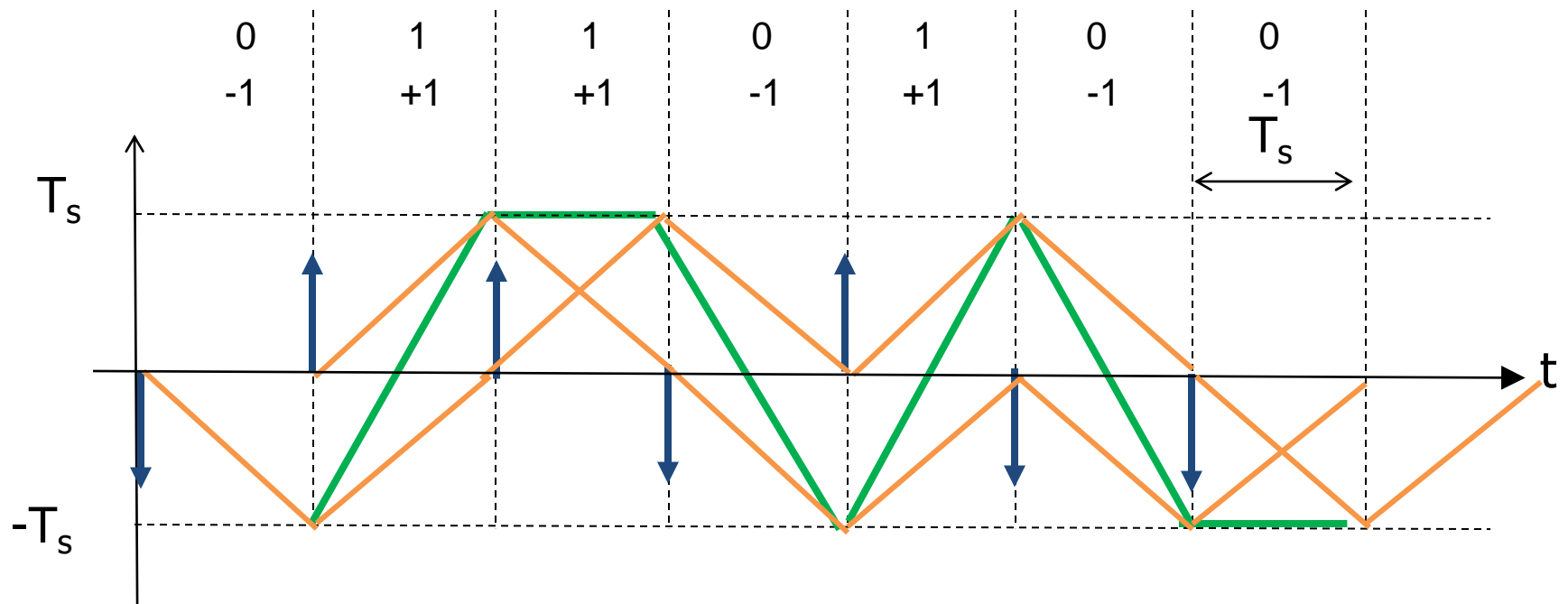
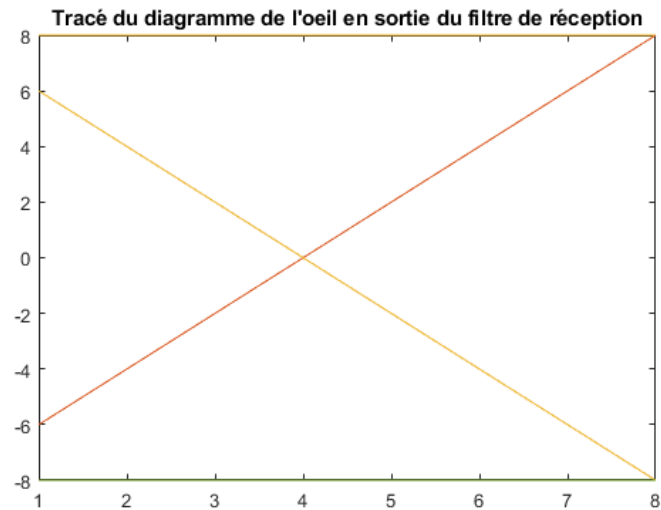
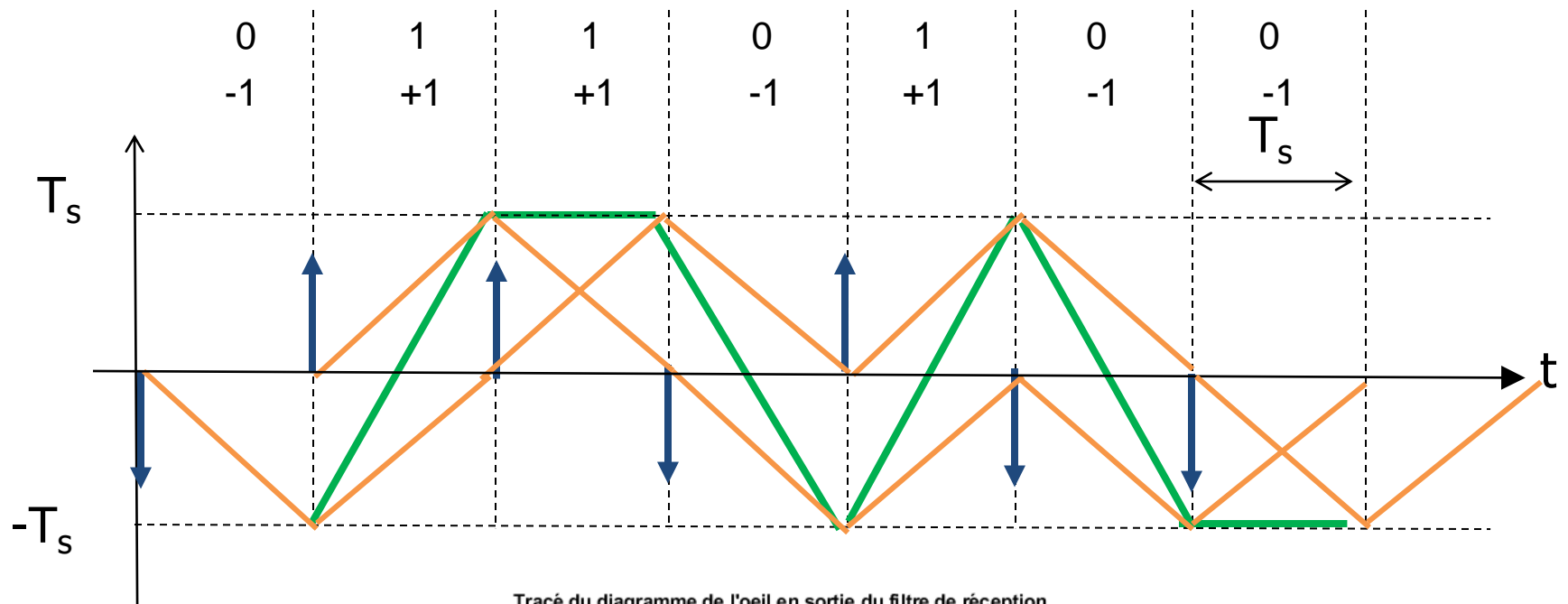
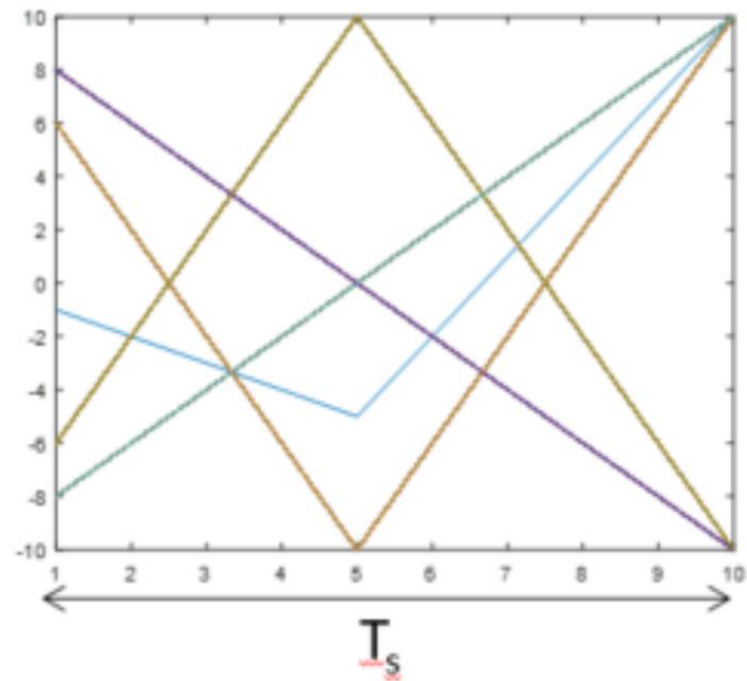


Diagramme de l'oeil

Exemple



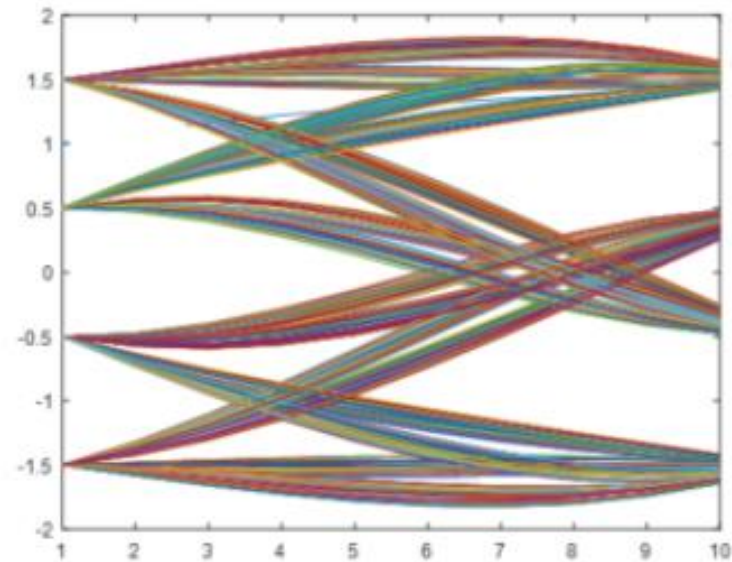
QUESTION 14



Soit une chaîne de transmission transportant des symboles binaires a_k prenant des valeurs +1 ou -1. La figure donne le diagramme de l'œil qui a été tracé, sans bruit, sur le signal en sortie du filtre de réception sur une durée T_s (composée de 10 échantillons de signal en numérique). La chaîne de transmission :

- ① Peut respecter le critère de Nyquist
- ② Ne peut pas respecter le critère de Nyquist
- ③ Pas assez d'éléments pour répondre à la question

QUESTION 15



Soit une chaîne de transmission transportant des symboles 4-aires a_k prenant des valeurs $+3$, $+1$, -1 ou -3 .
La figure donne le diagramme de l'œil qui a été tracé, sans bruit, sur le signal en sortie du filtre de réception sur une durée T_s (composée de 10 échantillons de signal en numérique).
La chaîne de transmission :

- ① Peut respecter le critère de Nyquist
- ② Ne peut pas respecter le critère de Nyquist
- ③ Pas assez d'éléments pour répondre à la question

Télécommunications

Transmissions en bande de base

1) Modulation numérique en bande de Base et notion d'efficacité spectrale

- 1) Définition du modulateur bande de base
- 2) DSP du signal modulé => bande nécessaire à la transmission
- 3) Efficacité spectrale de la transmission

2) Interférences entre symboles et critère de Nyquist

- 1) Problème de l'interférence entre symboles,
- 2) Critère de Nyquist dans le domaine temporel,
- 3) Diagramme de l'œil,
- 4) Critère de Nyquist dans le domaine fréquentiel,
- 5) Impact du canal de propagation

3) Impact du bruit dans la chaîne de transmission et notion d'efficacité en puissance

- 1) Filtrage adapté,
 - 2) Règle de décision,
 - 3) Taux d'erreur symbole et taux d'erreur binaire,
 - 4) Efficacité en puissance de la transmission.
-

Critère de Nyquist dans le domaine fréquentiel

$$z(t_0 + mT_s) = \underbrace{a_m g(t_0)}_{\text{Terme utile}} + \underbrace{\sum_{k \neq m} a_k g(t_0 + (m - k)T_s)}_{\text{ISI (Inter Symbol Interference)}} + \underbrace{w(t_0 + mT_s)}_{\text{Bruit (filtré et échantillonné)}}$$

$g(t) = h(t) * h_c(t) * h_r(t)$

$$\text{ISI} = 0 \iff \begin{cases} g(t_0) \neq 0 \\ g(t_0 + pT_s) = 0 \text{ for } p \in \mathbb{Z}^* \end{cases}$$

Critère de Nyquist (domaine temporel)

Critère de Nyquist dans le domaine fréquentiel

$$z(t_0 + mT_s) = \underbrace{a_m g(t_0)}_{\text{Terme utile}} + \underbrace{\sum_{k \neq m} a_k g(t_0 + (m - k)T_s)}_{\text{ISI (Inter Symbol Interference)}} + \underbrace{w(t_0 + mT_s)}_{\text{Bruit (filtré et échantillonné)}}$$

$g(t) = h(t) * h_c(t) * h_r(t)$

$$\text{ISI} = 0 \iff \begin{cases} g(t_0) \neq 0 \\ g(t_0 + pT_s) = 0 \text{ for } p \in \mathbb{Z}^* \end{cases}$$

Critère de Nyquist (domaine temporel)



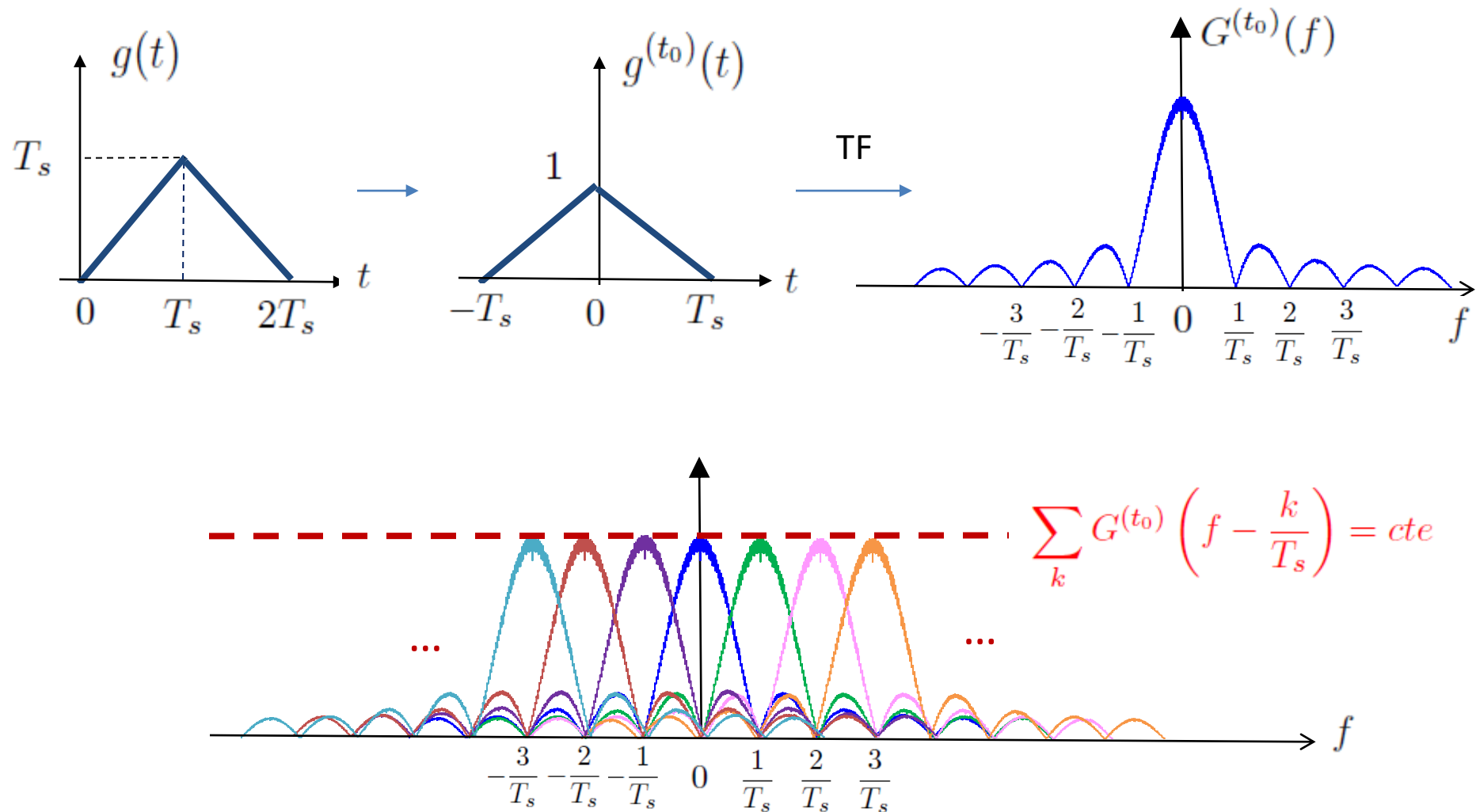
TF (calcul donné sur moodle)

$$\sum_k G^{(t_0)} \left(f - \frac{k}{T_s} \right) = cte \quad \text{avec} \quad G^{t_0}(f) = FT \left[\frac{g(t + t_0)}{g(t_0)} \right]$$

Critère de Nyquist (domaine fréquentiel)

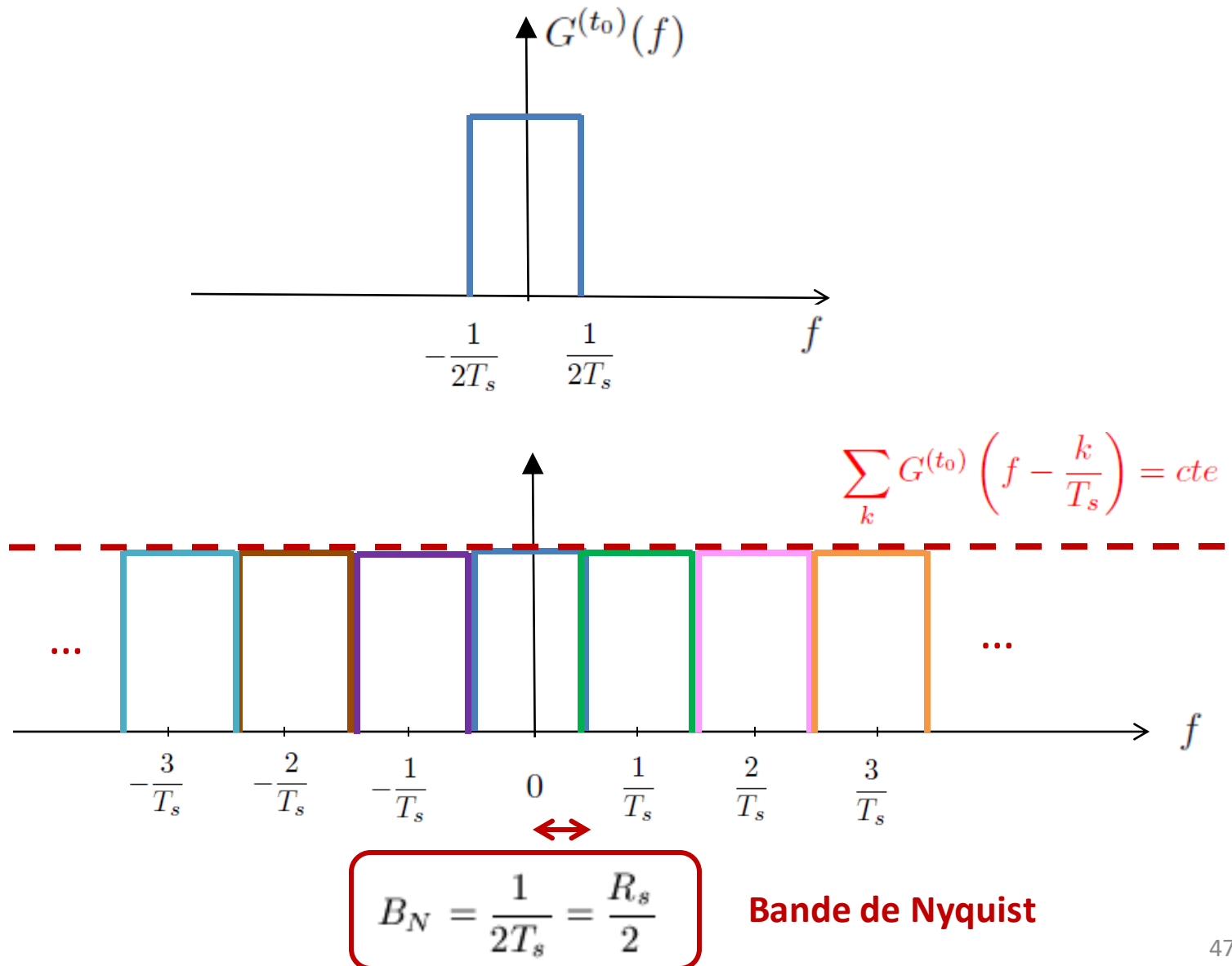
Critère de Nyquist dans le domaine fréquentiel

Exemple 1



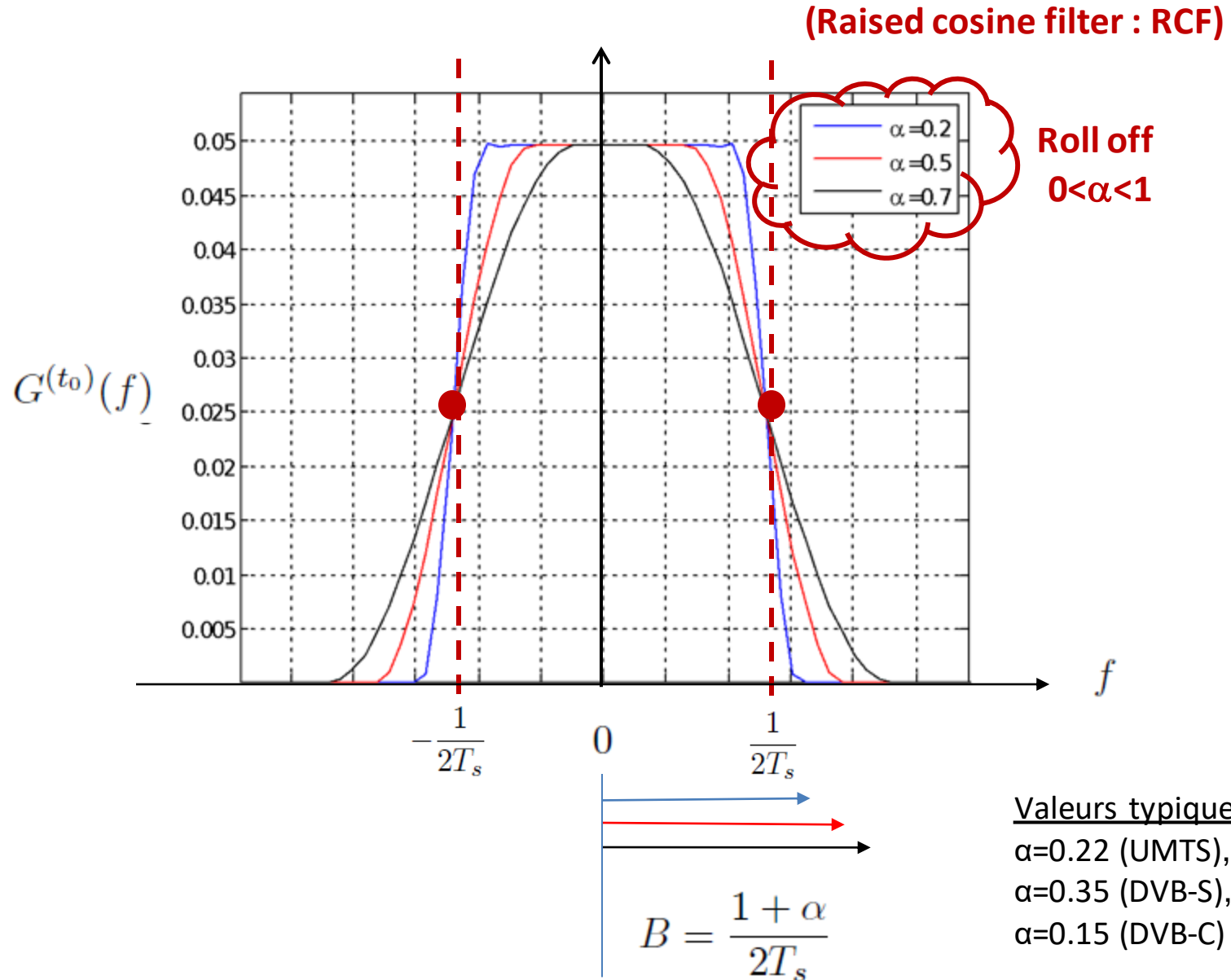
Critère de Nyquist dans le domaine fréquentiel

Exemple 2 – Bande de Nyquist



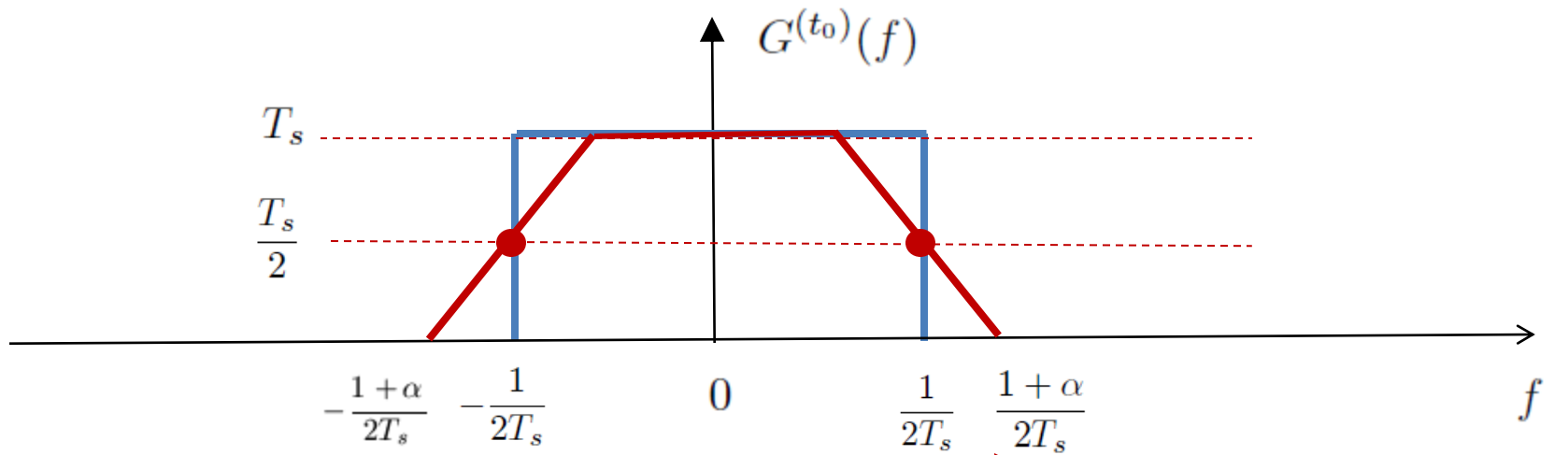
Critère de Nyquist dans le domaine fréquentiel

Exemple 3 : filtre en cosinus surélevé

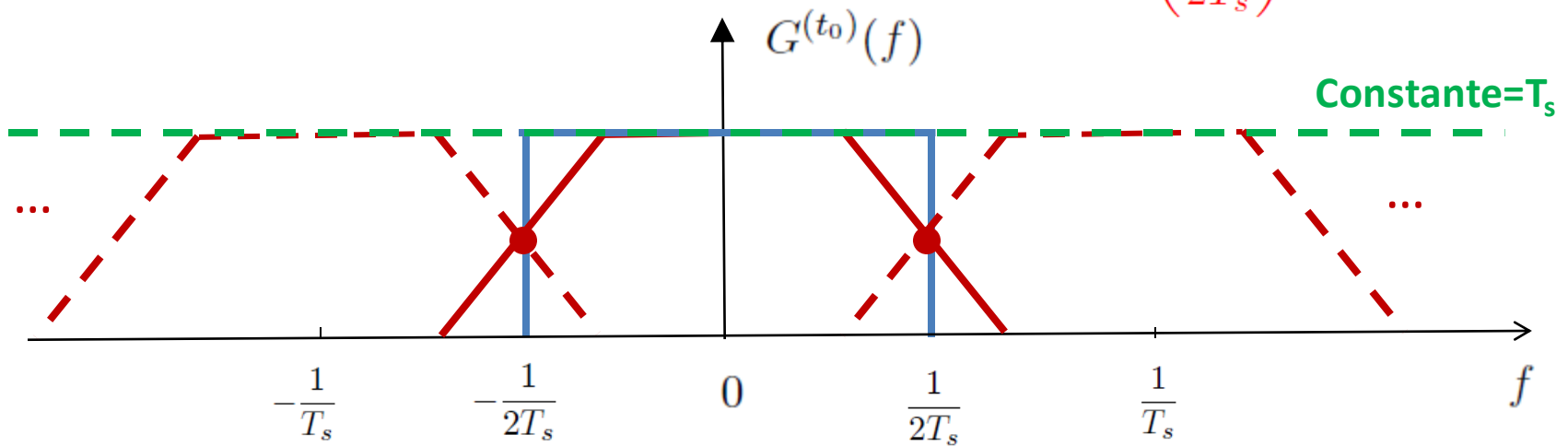


Critère de Nyquist dans le domaine fréquentiel

Exemple 3 : filtre en cosinus surélevé



Extension de bande $\left(\frac{\alpha}{2T_s}\right)$



Télécommunications

Transmissions en bande de base

1) Modulation numérique en bande de Base et notion d'efficacité spectrale

- 1) Définition du modulateur bande de base
- 2) DSP du signal modulé => bande nécessaire à la transmission
- 3) Efficacité spectrale de la transmission

2) Interférences entre symboles et critère de Nyquist

- 1) Problème de l'interférence entre symboles,
- 2) Critère de Nyquist dans le domaine temporel,
- 3) Diagramme de l'œil,
- 4) Critère de Nyquist dans le domaine fréquentiel,
- 5) Impact du canal de propagation

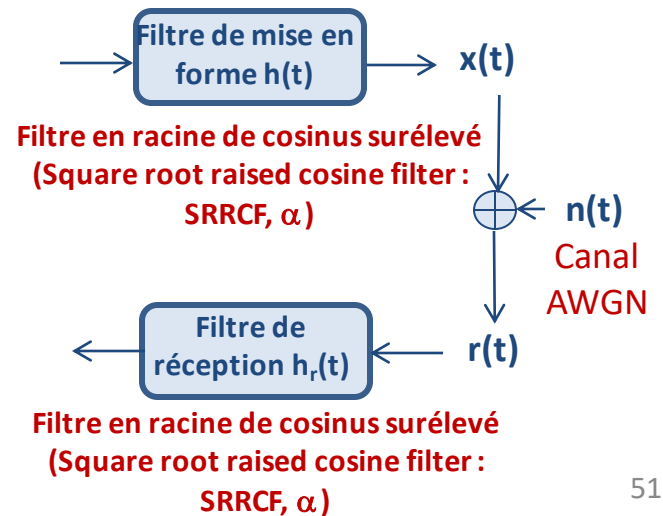
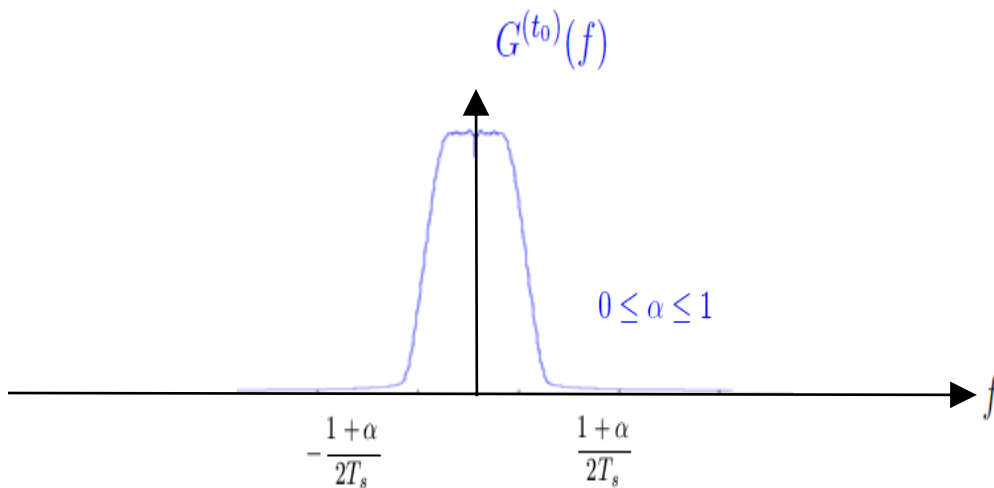
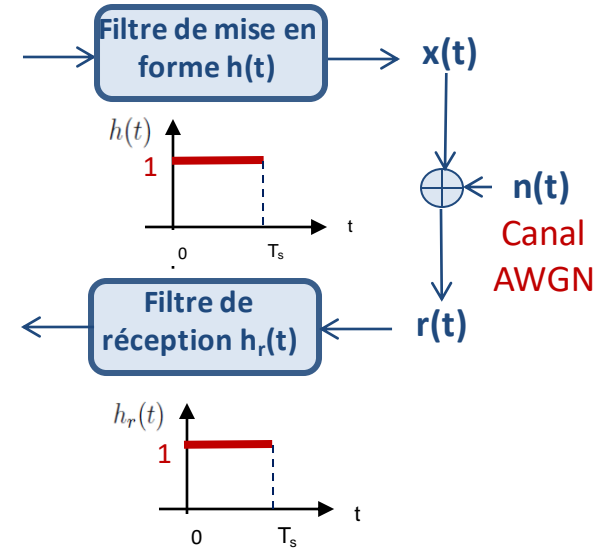
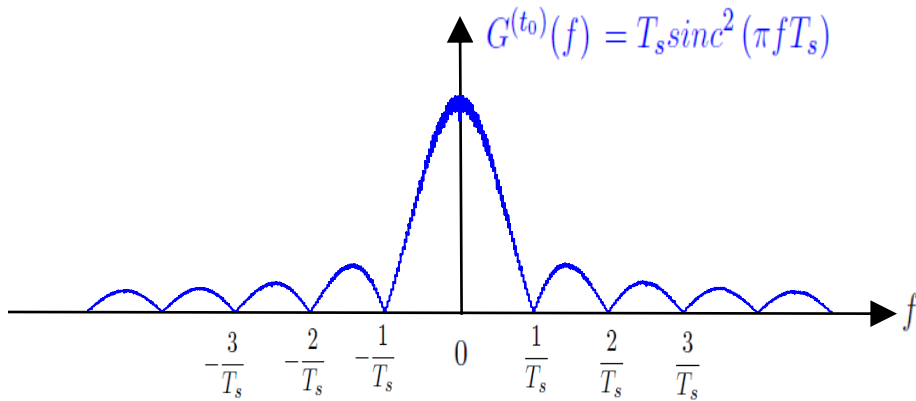
3) Impact du bruit dans la chaîne de transmission et notion d'efficacité en puissance

- 1) Filtrage adapté,
 - 2) Règle de décision,
 - 3) Taux d'erreur symbole et taux d'erreur binaire,
 - 4) Efficacité en puissance de la transmission.
-

Impact du canal de propagation

Canal AWGN

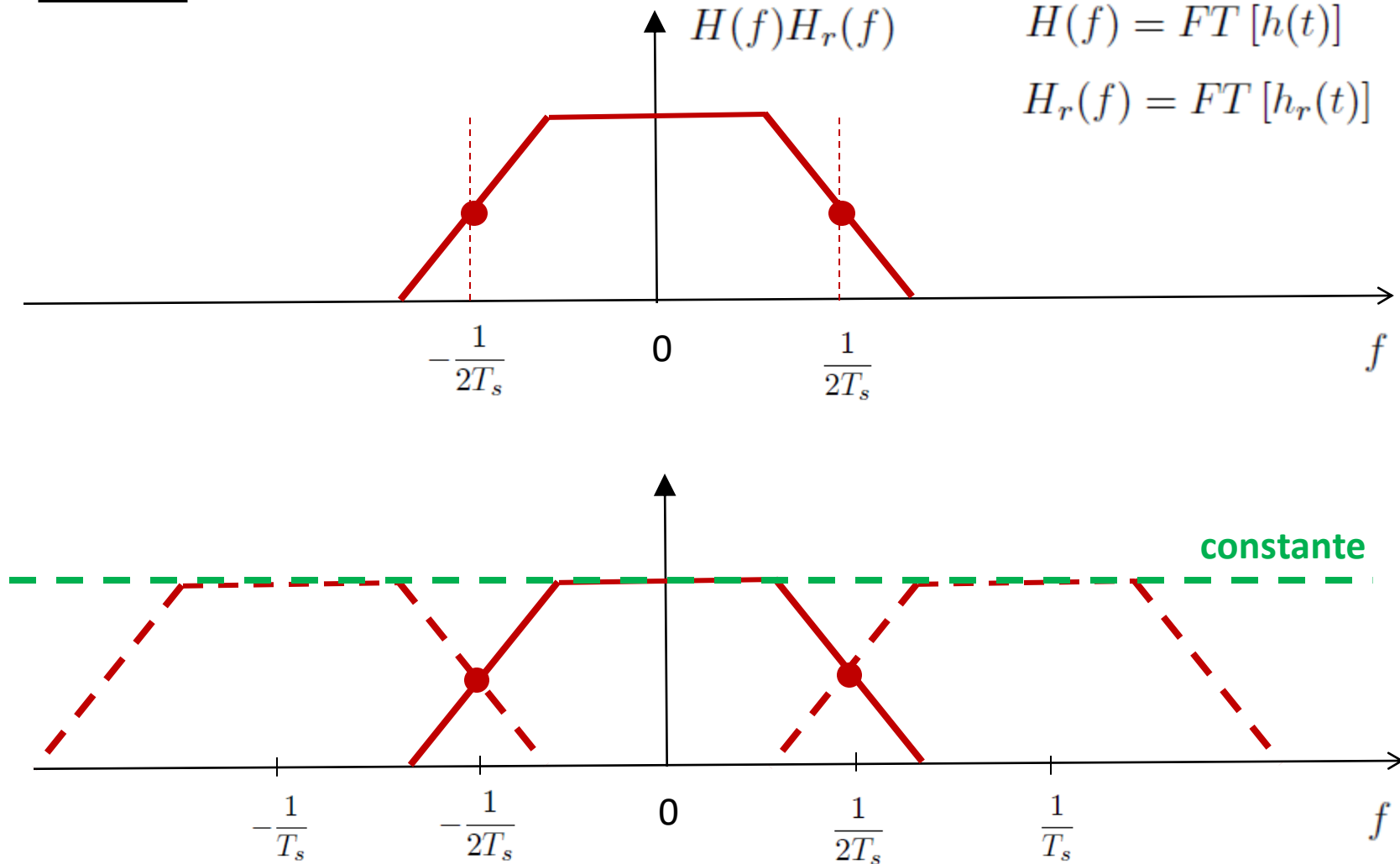
Deux cas où $G^{(t_0)}(f)$ respecte le critère de Nyquist



Impact du canal de propagation

Canal AWGN à bande limitée

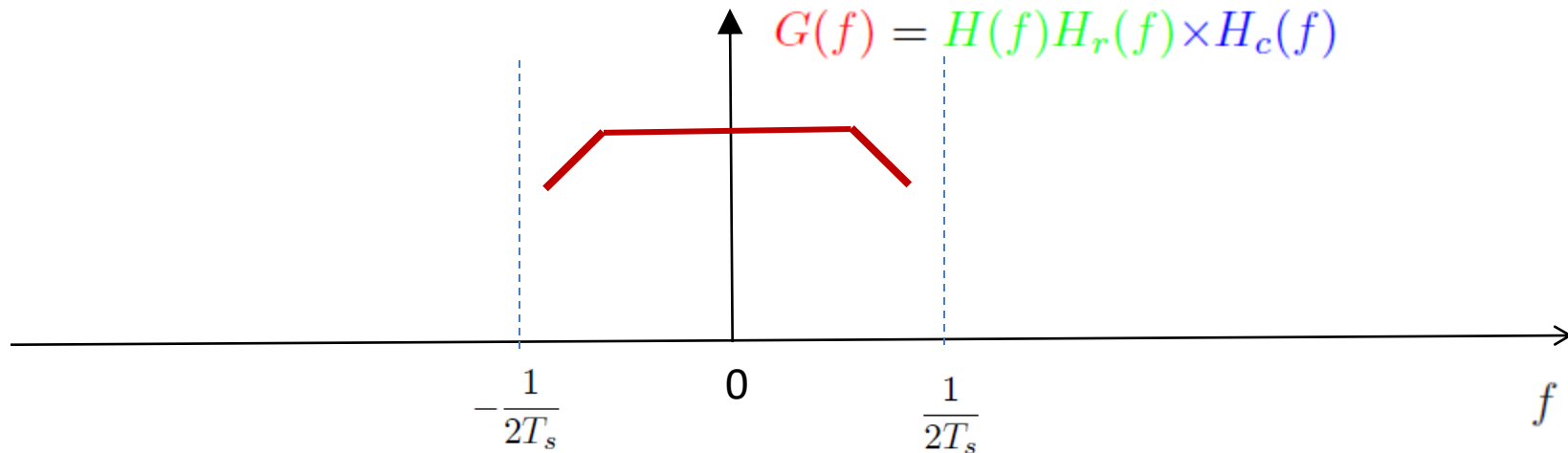
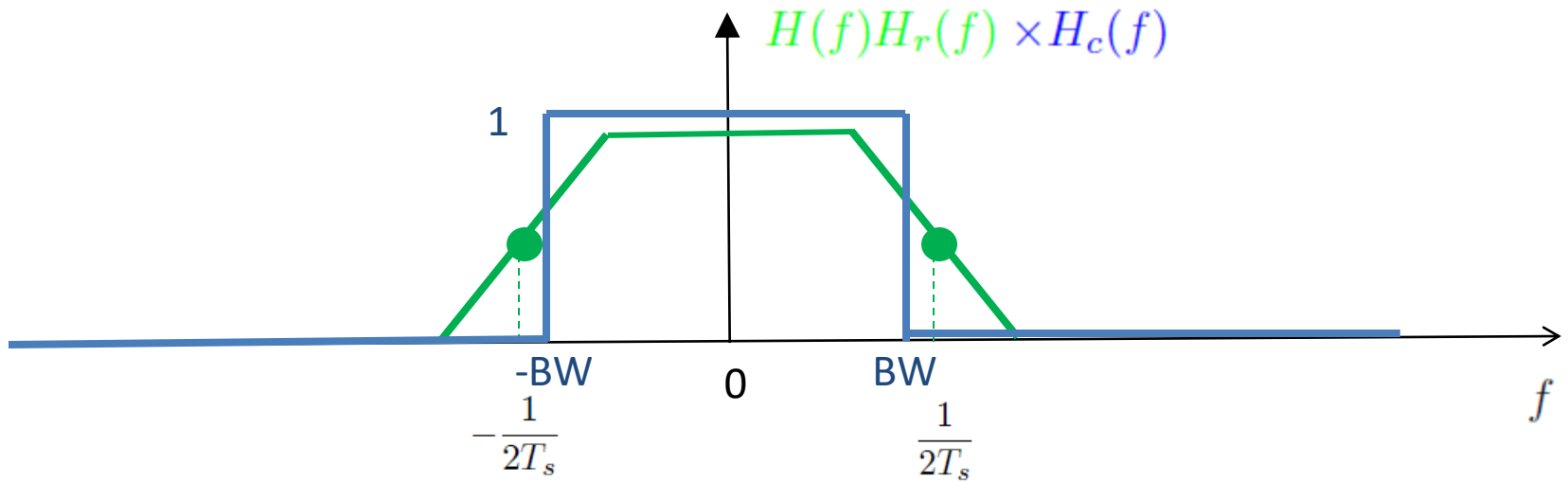
Exemple:



Impact du canal de propagation

Canal AWGN à bande limitée

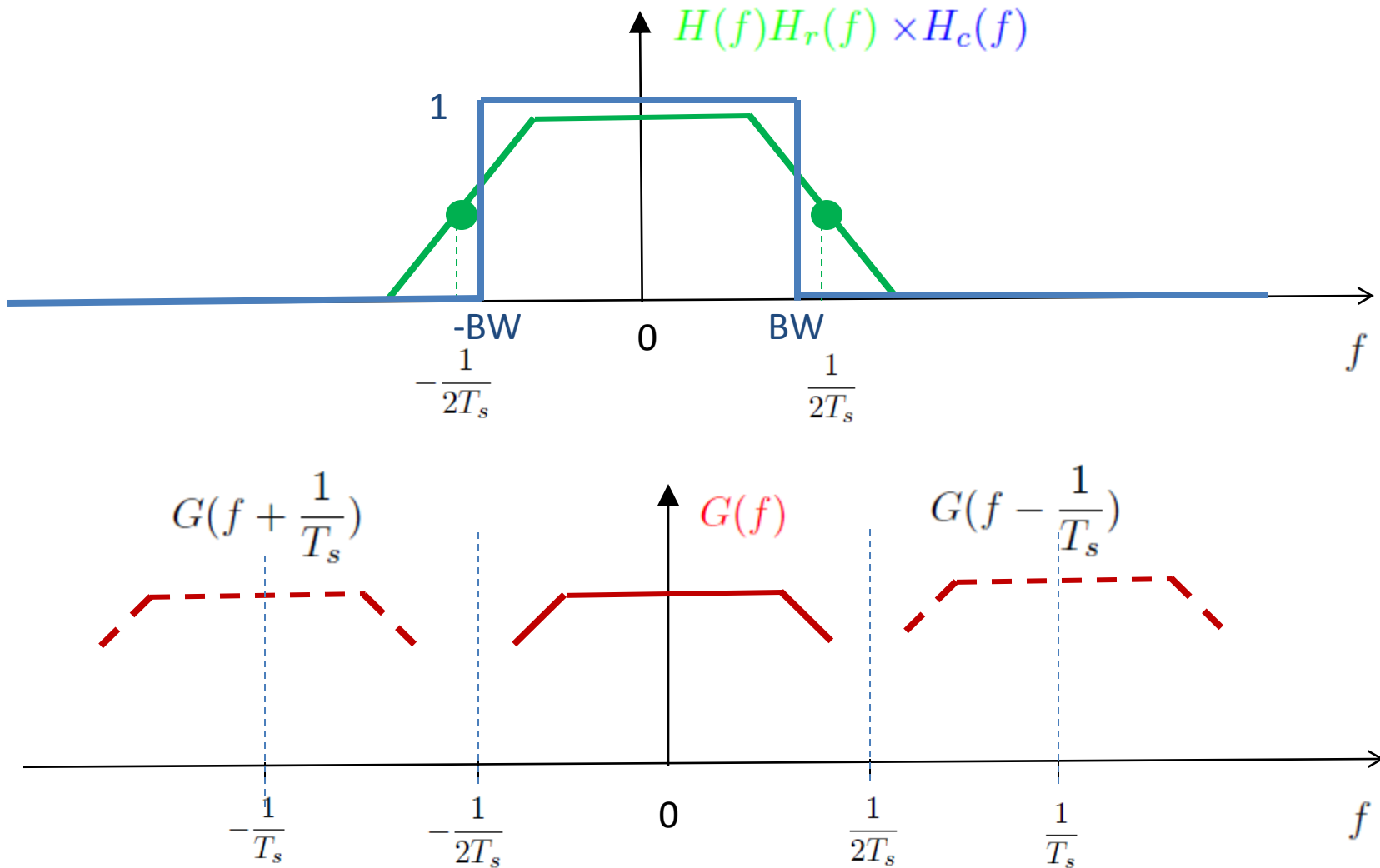
Exemple:



Impact du canal de propagation

Canal AWGN à bande limitée

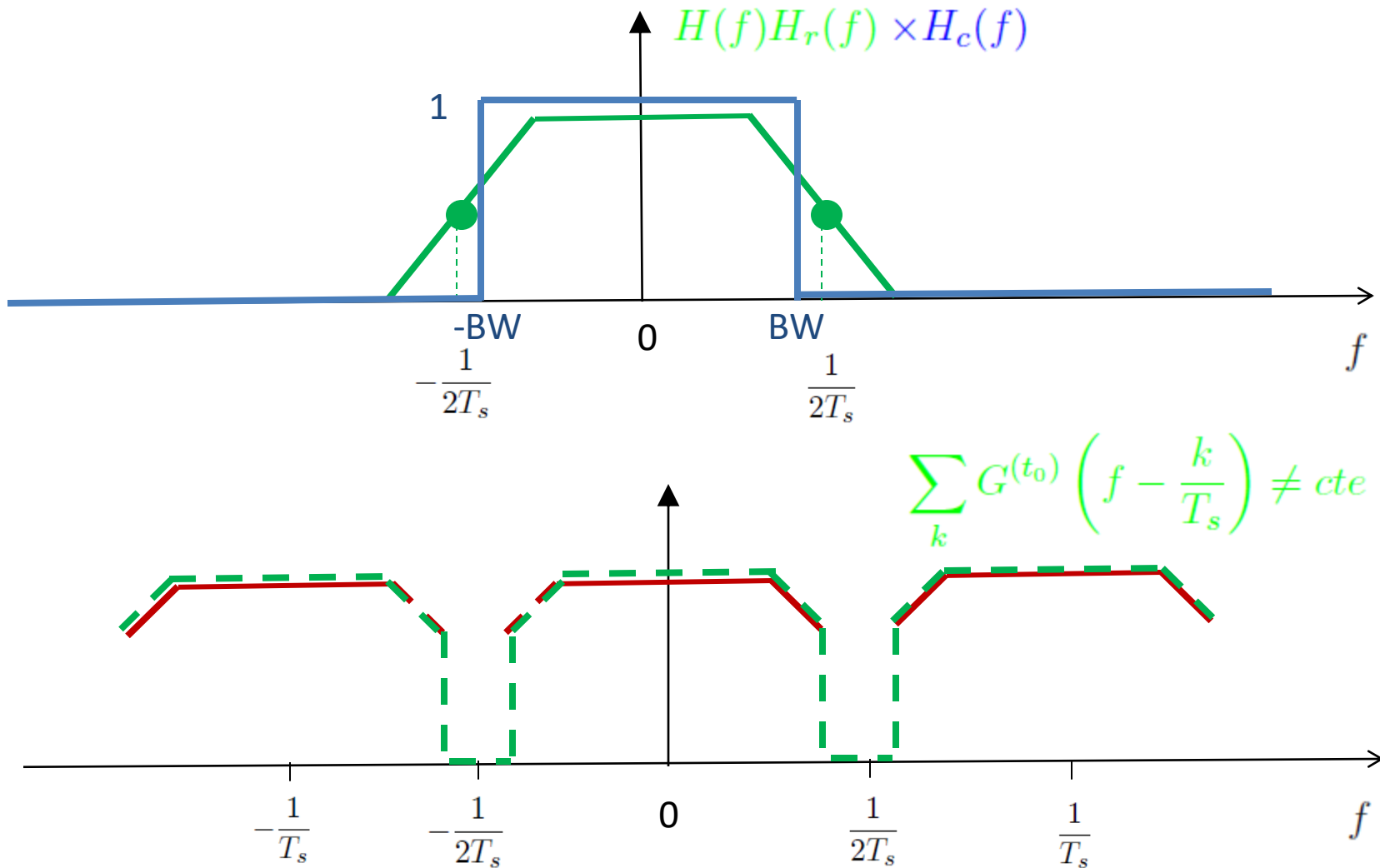
Exemple:



Impact du canal de propagation

Canal AWGN à bande limitée

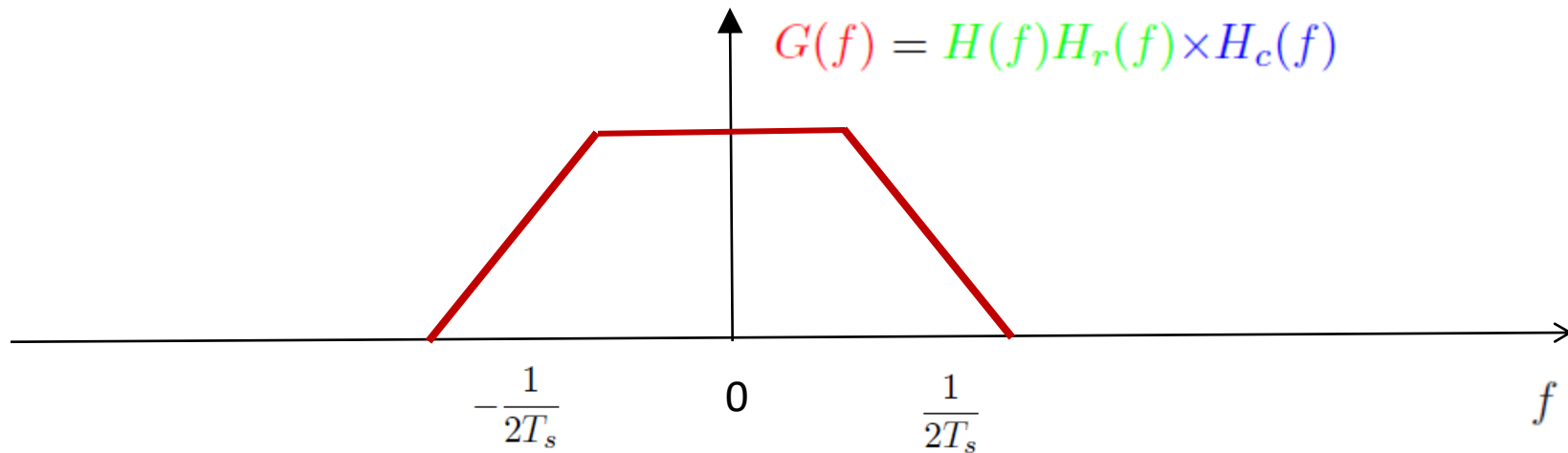
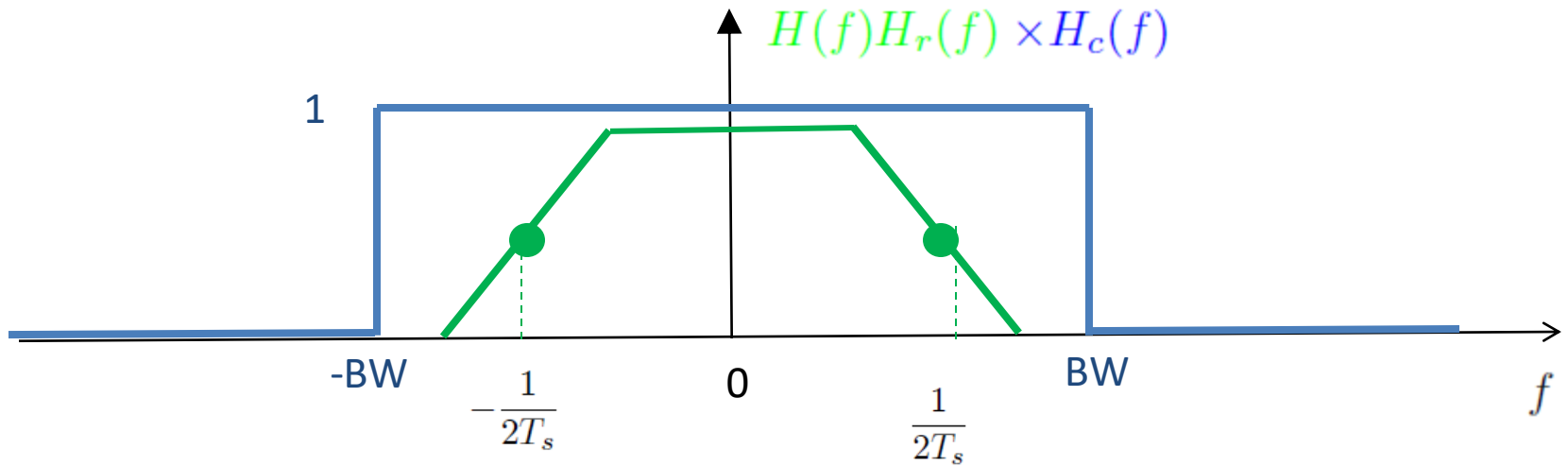
Exemple:



Impact du canal de propagation

Canal AWGN à bande limitée

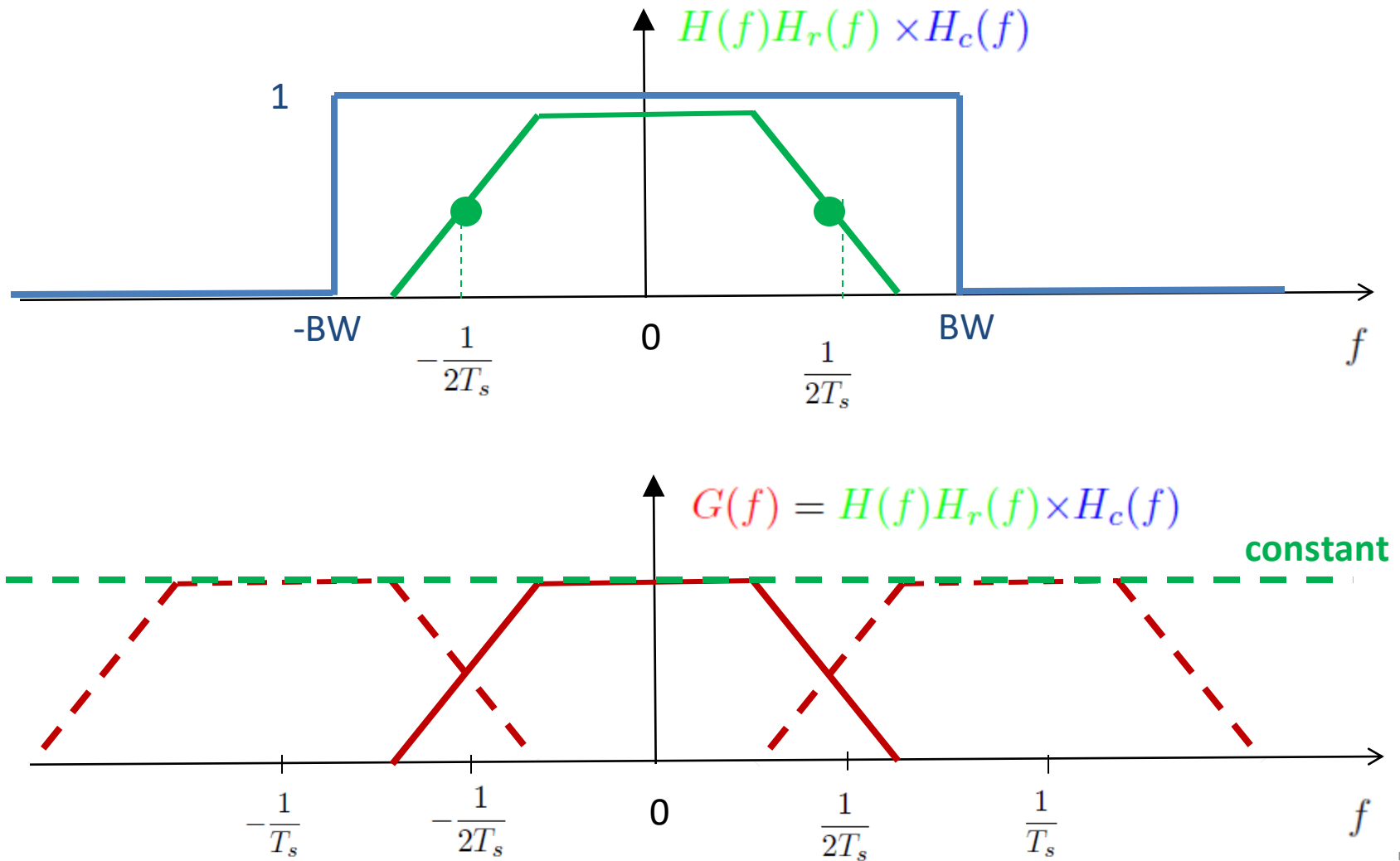
Exemple:



Impact du canal de propagation

Canal AWGN à bande limitée

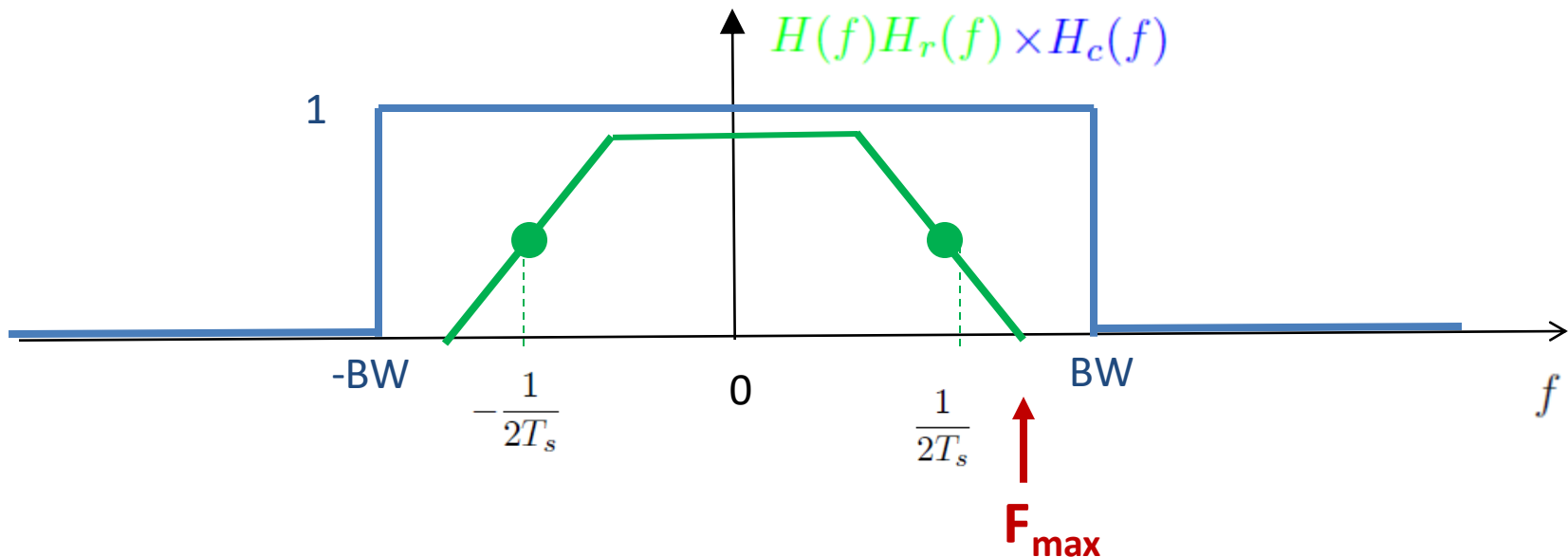
Exemple:



Impact du canal de propagation

Canal AWGN à bande limitée

Exemple:



Si $BW > F_{\max}$ un canal AWGN à bande limitée BW
Permet de continuer à respecter le critère de Nyquist

Mais, comme $F_{\max} = kR_s$, alors $R_s < \frac{BW}{k}$ pour continuer à respecter le critère de Nyquist

Bande passante du canal

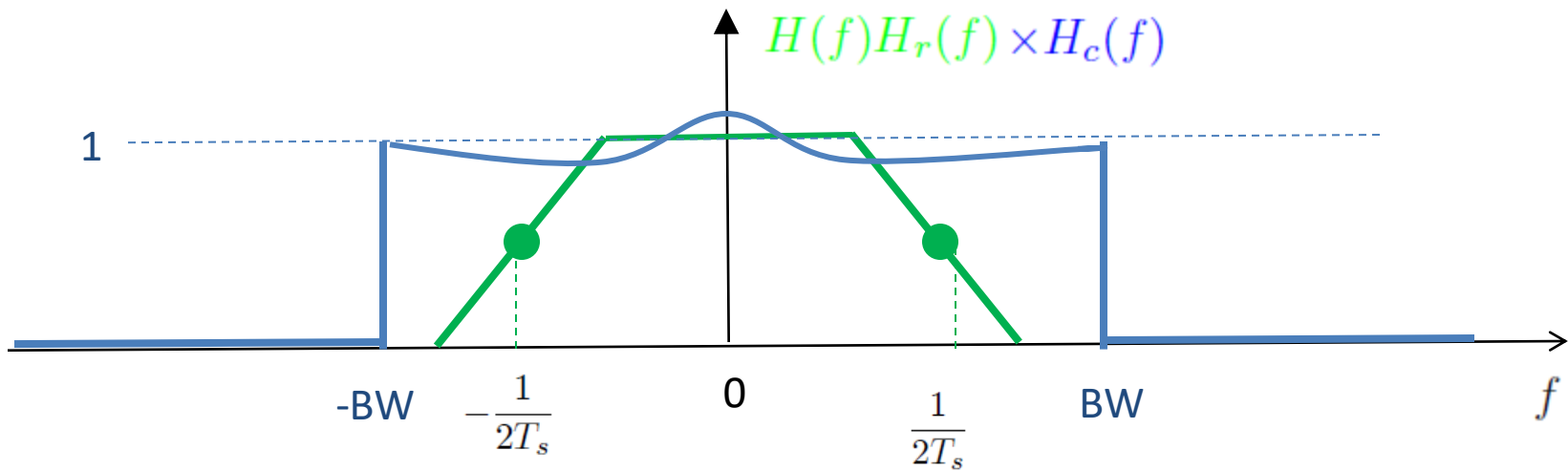
Dépend des filtres de la chaîne.

Le débit symbole permettant de vérifier
le critère de Nyquist est limité

Impact du canal de propagation

Canal sélectif en fréquences

Exemple :



- Le critère de Nyquist n'est plus vérifié
- D'autres méthodes doivent être utilisées : égalisation, ofdm ... (voir en 2A)