Module R305

Chaînes de transmission numériques

(S3 – RT2 – Coeff. 22)

Sera suivie d'une Saé (Coeff. 25 dans RT2)

Angel ABENIA

– Chapitre 2 –

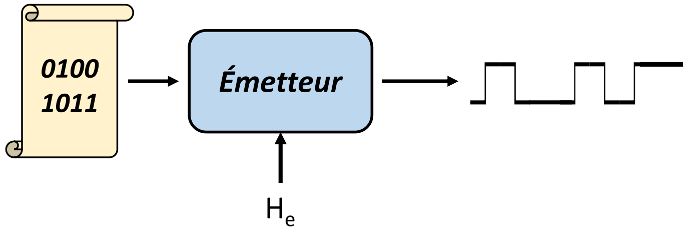
Concepts fondamentaux pour les transmissions numériques

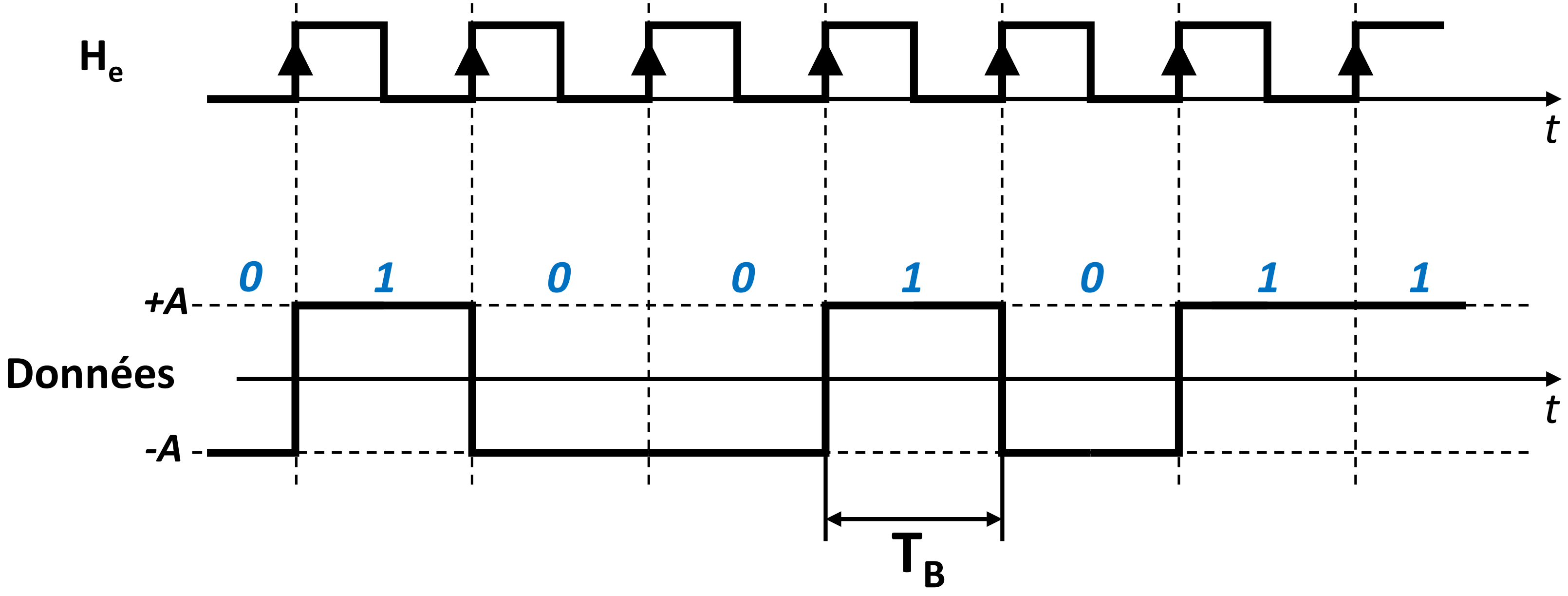
I. Définition du débit binaire

On considère une liaison pour laquelle on code les bits de la manière suivante :

- « 1 » → +A volts
- « 0 » → -A volts

De plus, la cadence « d'émission » est donnée par une « horloge H_e » de fréquence f_e.





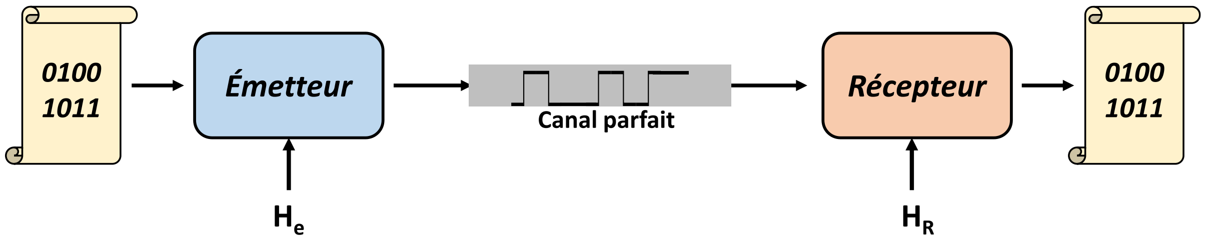
T_B : durée d'1 bit

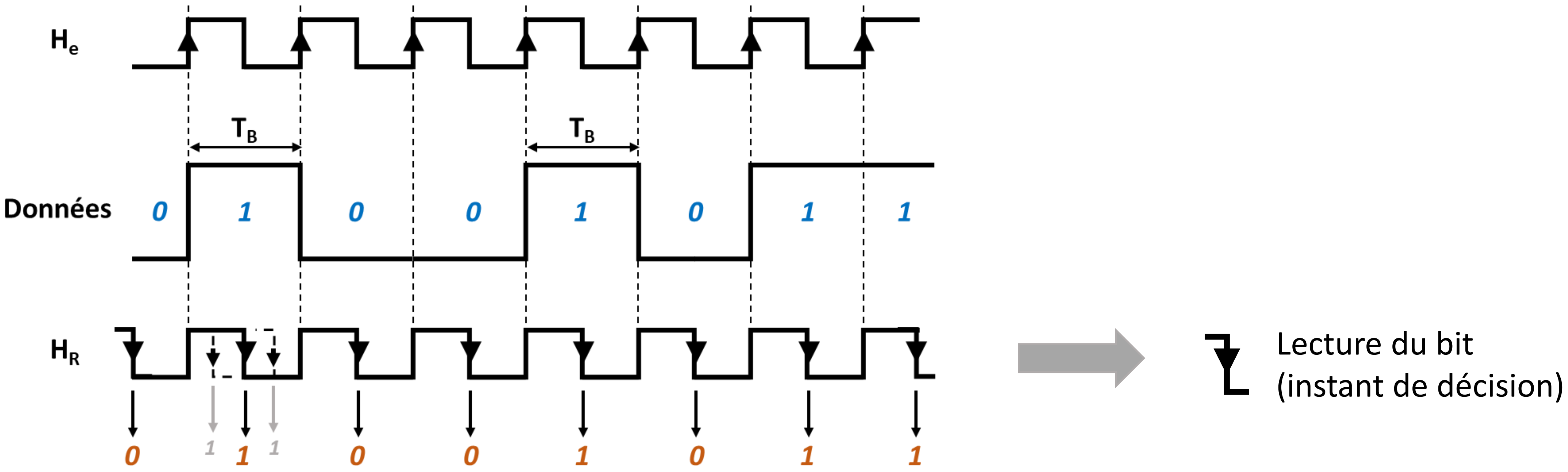
$$\boxed{\dot{D} = \frac{1}{T_B}}$$ [bits/s]

II. Limitation du débit

II.1 Transmission dans un canal parfait

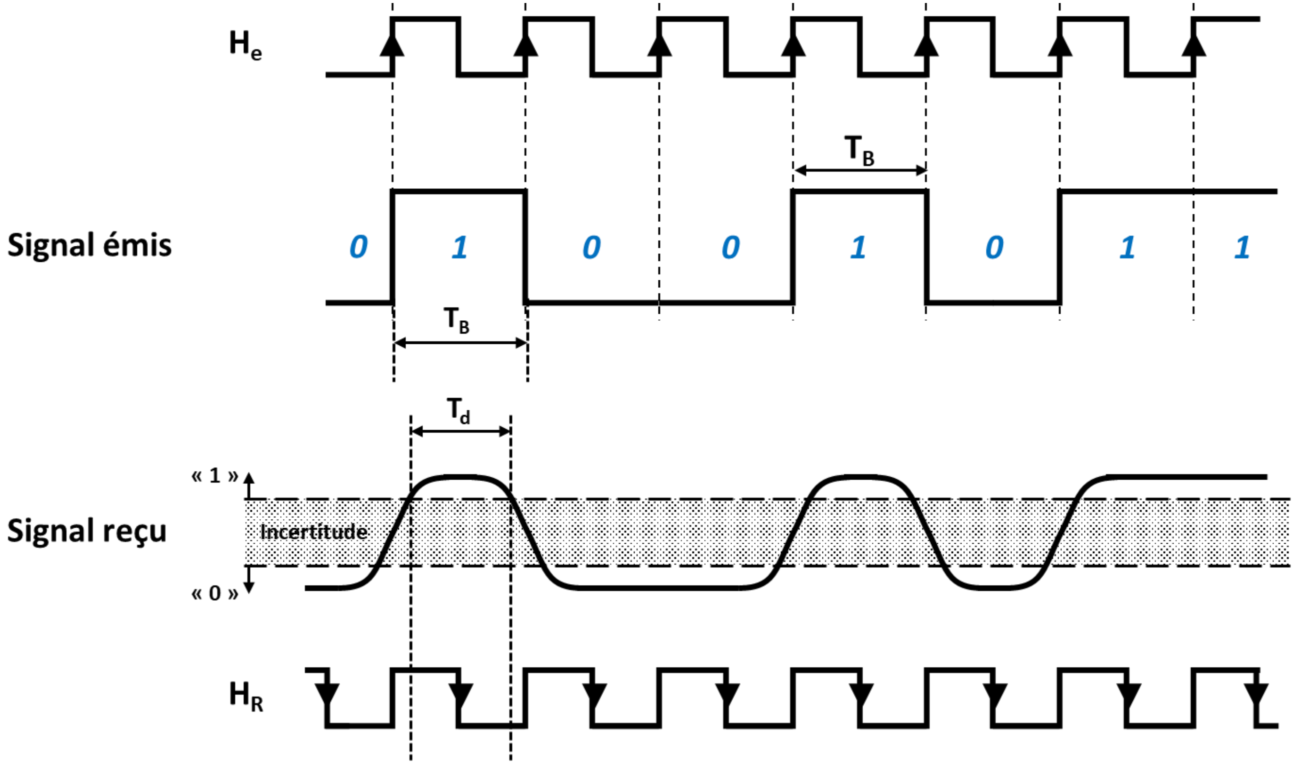
Si le canal de transmission est parfait (bande passante infinie et pas de bruit), alors il n'influe pas sur le signal, donc le signal reçu par le récepteur est identique à celui envoyé par l'émetteur.





II.2 Transmission dans un canal à bande passante limitée

Si le canal de transmission a une bande passante limitée, il se comporte comme un système passe-bas.



La bande passante du canal détériore le signal reçu.

L'instant de décision doit avoir lieu lorsque le signal est « interprétable » (en dehors de la zone d'incertitude).

La plage dans laquelle l'instant de décision doit avoir lieu est appelée : plage de décision (T_d).

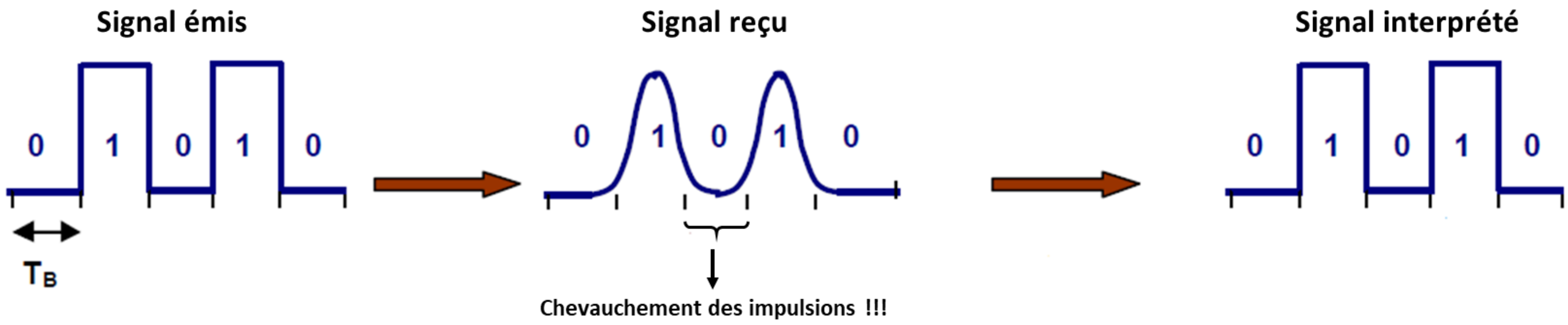
Celle-ci **doit exister** mais sera **plus petite que la durée du bit** (T_B).

$$T_d < T_B$$

II. Limitation du débit

II.3 Interférence inter-symbole

Si le canal de transmission se comporte comme un système passe-bas, alors les impulsions « s'élargissent » et se « superposent ». Ce phénomène est appelé : l'interférence inter-symbole.



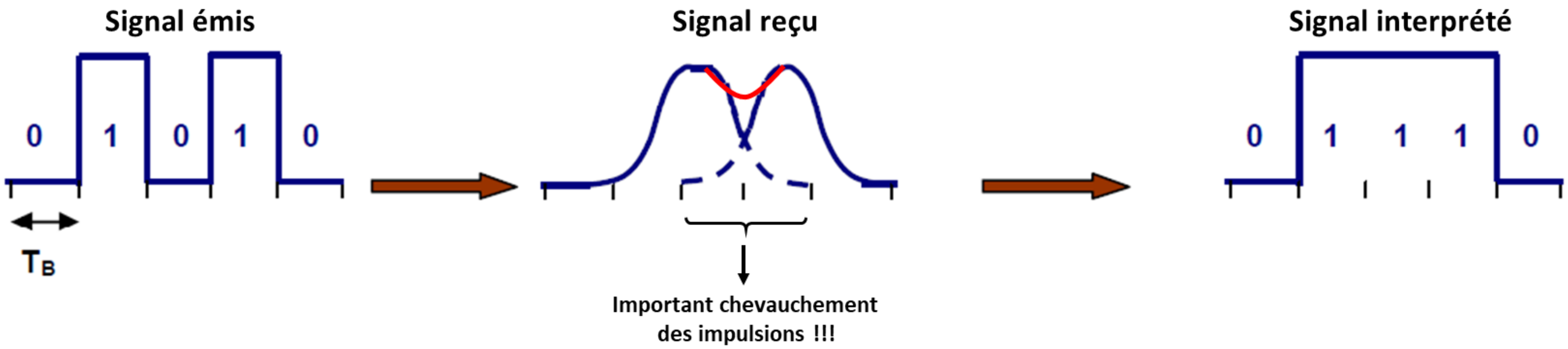
Le signal reçu est déformé car la totalité de son spectre ne passe pas dans la bande passante du support.

Cependant, on peut encore distinguer sur le signal la suite binaire qui a été envoyée.

II. Limitation du débit

II.3 Interférence inter-symbole

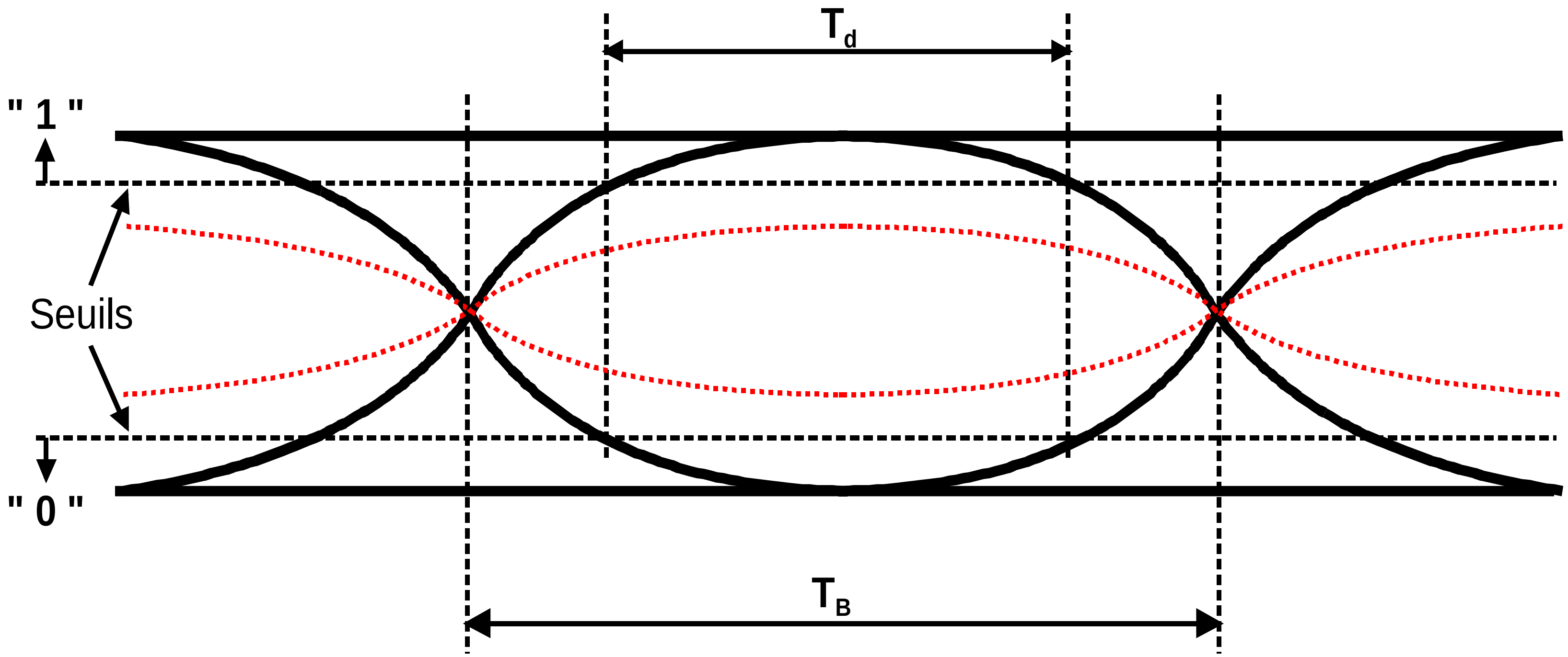
Si la bande passante est réduite ou si le débit binaire est augmenté, alors l'interférence inter-symbole peut devenir très nuisible à l'interprétation des données.



Nous nous trouvons ici dans l'impossibilité de distinguer sur le signal reçu, la suite binaire envoyée.

II.4 Analyse de l'interférence inter-symbole – Effet du bruit – Diagramme de l'œil

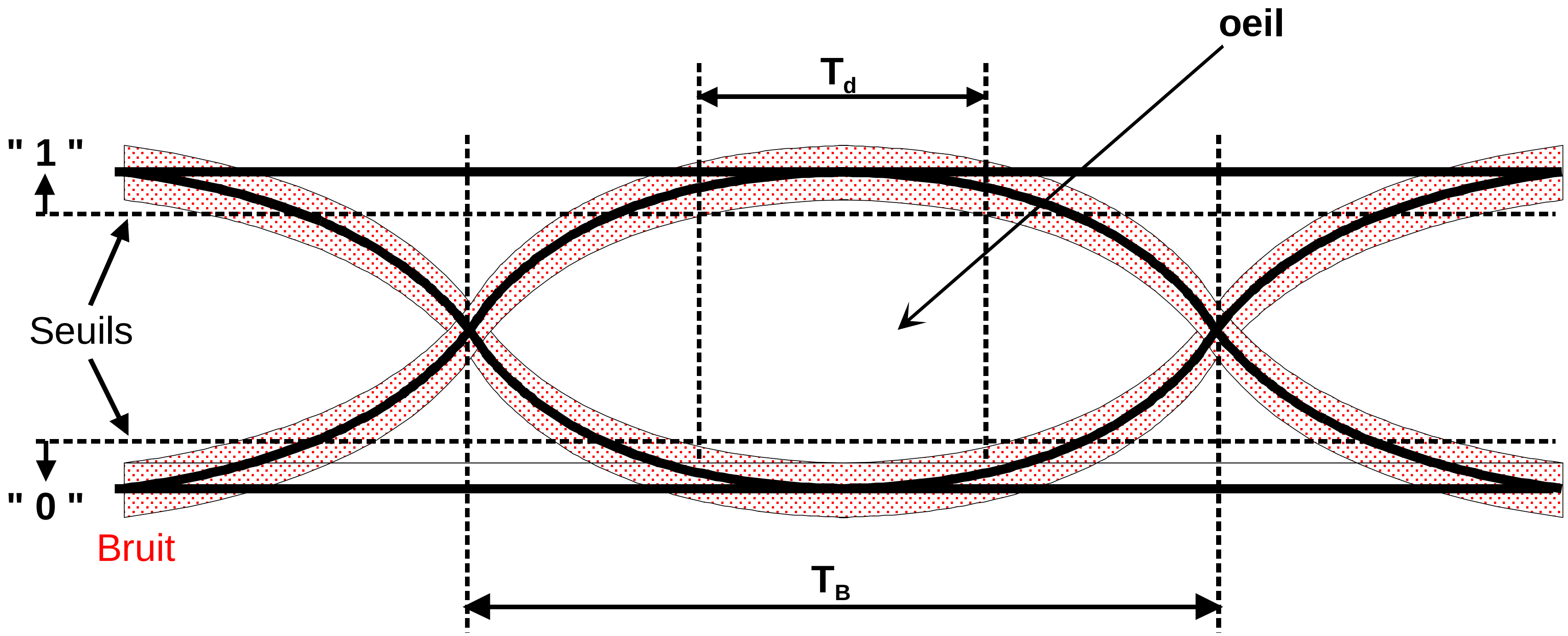
Diagramme de l'œil – Signal non bruité



Ayant des seuils fixés, si le signal est supérieur ou inférieur à ces seuils, la valeur binaire est « interprétable ». (signal en noir)

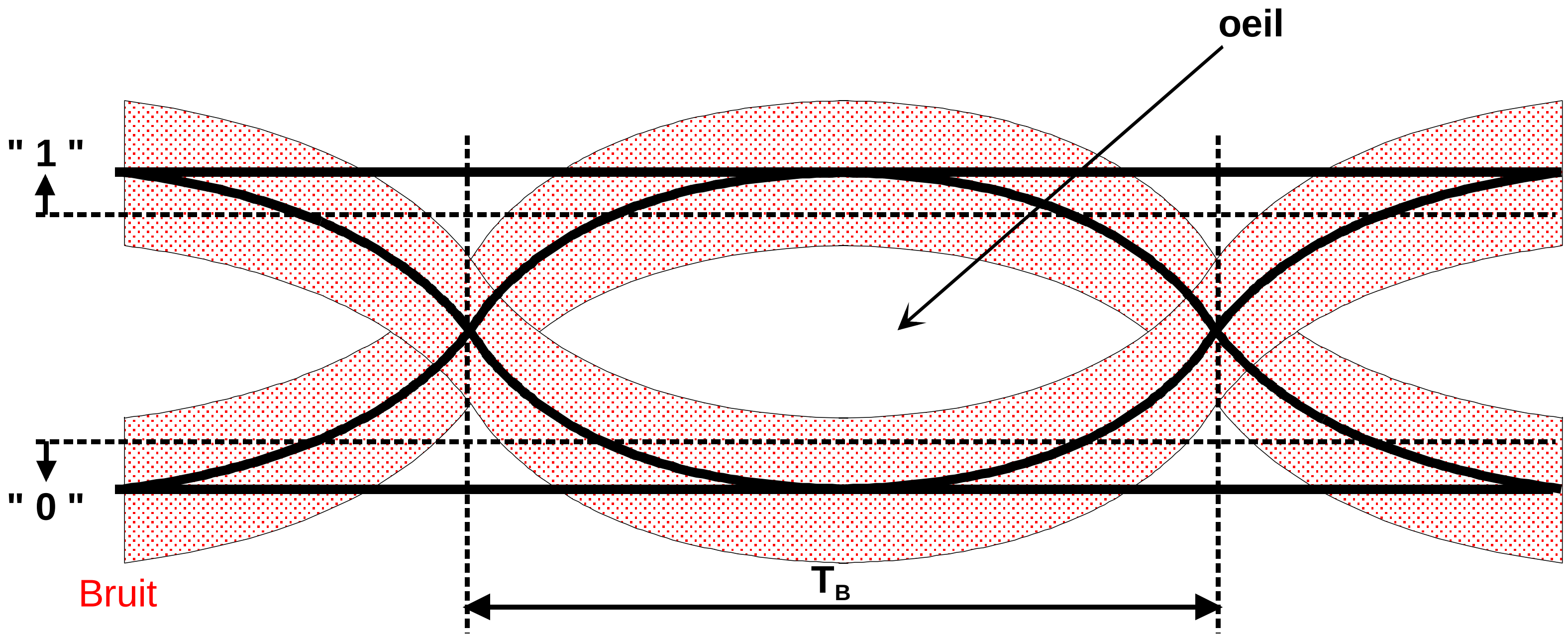
Si par contre le signal reste compris entre ces seuils, le récepteur est dans l'impossibilité d'interpréter la valeur binaire !!!!

Diagramme de l'œil – Signal légèrement bruité



Si un signal de bruit se rajoute au signal, alors pour les mêmes seuils la plage de décision est plus petite.

Diagramme de l'œil – Signal légèrement bruité



Pour les mêmes seuils que précédemment, si le bruit a pris trop d'importance par rapport au signal, on ne peut plus distinguer avec certitude les valeurs binaires.

Une solution consisterait à modifier les seuils. Mais si le bruit devient trop important, l'œil se ferme et la position des seuils n'y fera plus rien.

III. Notions de rapidité de modulation : Critère de Nyquist

Comme nous venons de le voir, la bande passante du canal affecte le signal.

Il en résulte que : plus la bande passante est faible plus le débit doit être faible.

$$\boxed{B_P \searrow \;\Rightarrow\; \dot{D} \searrow}$$

Il existe donc un lien entre la bande passante et le débit.

Nyquist a démontré que si B_P est la bande passante d'un système, alors la variation maximum du signal (rapidité de modulation en bauds ou Symb/s) dépend de la bande passante.

$\mathbf{R \leq 2 \times B_P}$ 1° critère de Nyquist (difficile à réaliser en milieu bruité)

Ou $\mathbf{R \leq B_P}$ 2° critère de Nyquist (facile à réaliser)

Ou $\mathbf{R \approx 1{,}25 \times B_P}$ critère pratique

III. Notions de rapidité de modulation : Critère de Nyquist

Exemple : application à l'ADSL

La bande passante d'une ligne téléphonique est de l'ordre de 1,1 MHz.

Cette bande passante est utilisée pour le transport de la voix (téléphonie classique), et pour le transport des données (flux montant et descendant).

Calculs :

III. Notions de rapidité de modulation : Critère de Nyquist

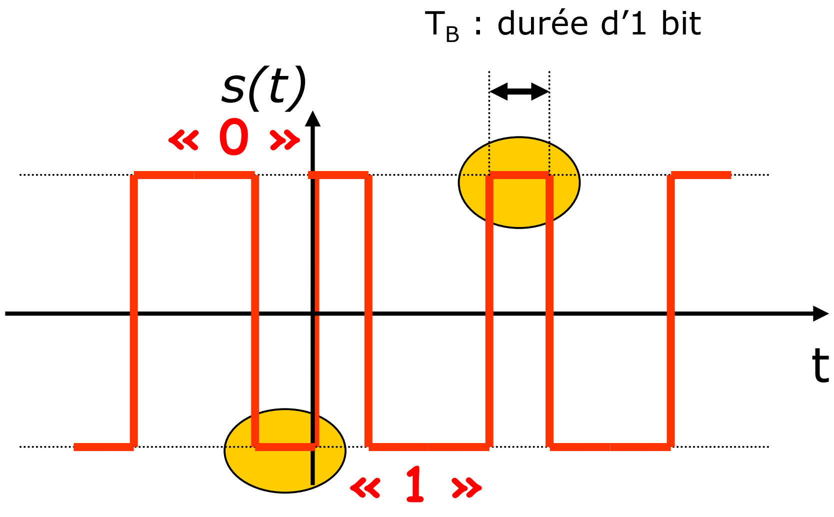
Conclusion :

Pour augmenter le débit binaire, on va faire en sorte de transporter plusieurs bits sur un symbole, autrement dit, plusieurs bits sur un état « significatif » du signal.

IV. Utilisation des codages multi-symboles

IV.1 Qu'est-ce qu'un symbole ?

<u>Exemple du codage NRZ</u>



Ce signal présente 2 symboles (+A et –A). Chaque symbole (ou moment) code 1 bit.
Un bit pouvant prendre 2 valeurs (1 ou 0) il faudra au moins 2 symboles.

Dans ce cas, la durée d'un symbole est égale à la durée d'un bit :

$$T_S = T_B$$

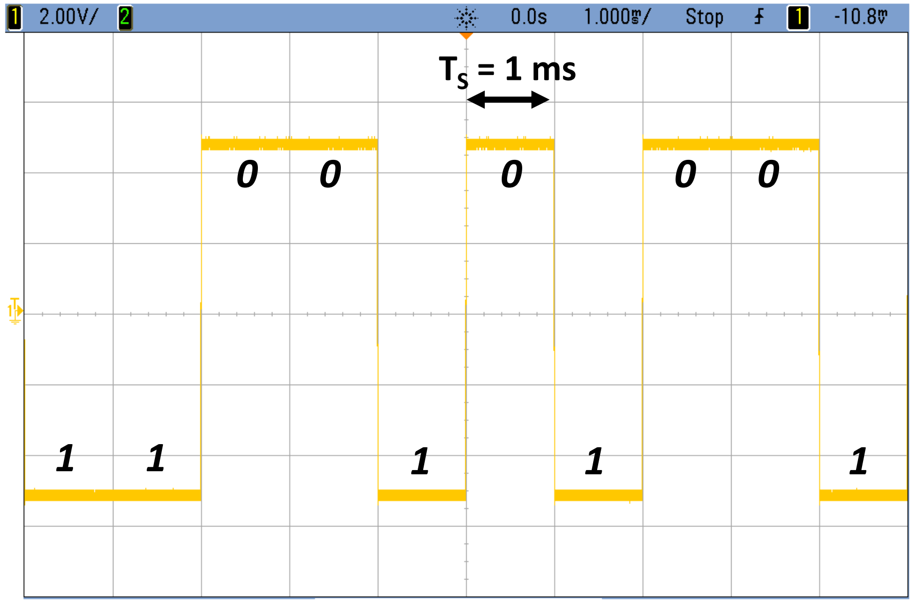
On défini une nouvelle notion de débit : le débit des moments ou débit des symboles ($\dot{M}$).

$$\boxed{\dot{M} = 1/T_S}$$

La rapidité de modulation représente le ***débit des moments maximum*** pouvant être atteint dans une bande passante donnée ($\dot{M}_{MAX} = R$) et non le débit binaire maximum.

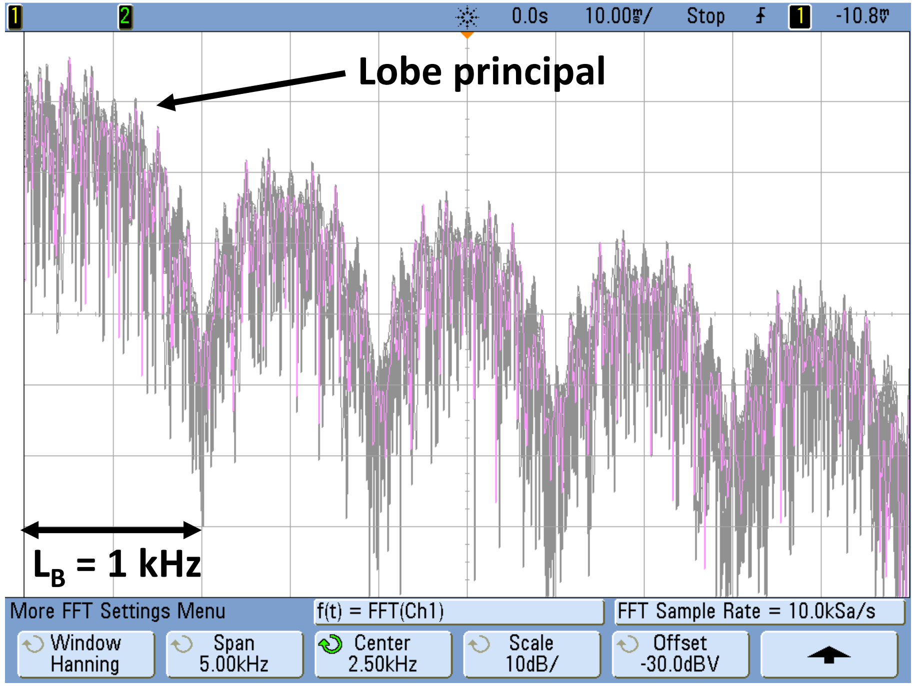
Exemple du codage NRZ

La largeur de spectre du signal (largeur de bande : L_B) dépend uniquement du débit des symboles. Lorsque le signal n'est pas modulé (signal présentant des impulsions), alors : $L_B = \dot{M}$



$\dot{M} = 1/T_S = 1$ kSymb/s

FFT



Exemple du codage 2B1Q

Comme dit précédemment, un symbole peut définir la valeur de plusieurs bits à la fois.

Dans ce cas, le signal doit pouvoir prendre plus de 2 états significatifs.

Par exemple pour coder la combinaison de 2 bits, le signal doit disposer de 2^2 états significatifs (symboles).

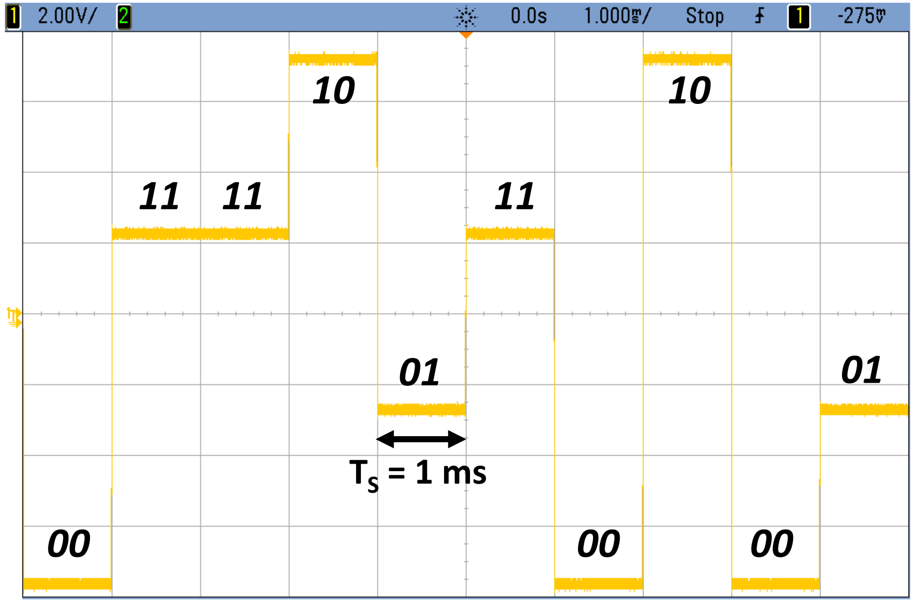
Pour coder la combinaison de N bits, le signal doit disposer de 2^N symboles.

Dans tous les cas, la largeur de bande du signal (L_B) dépend uniquement du débit des symboles. Lorsque le signal n'est pas modulé (signal présentant des impulsions), alors : $\mathbf{L_B = \dot{M}}$

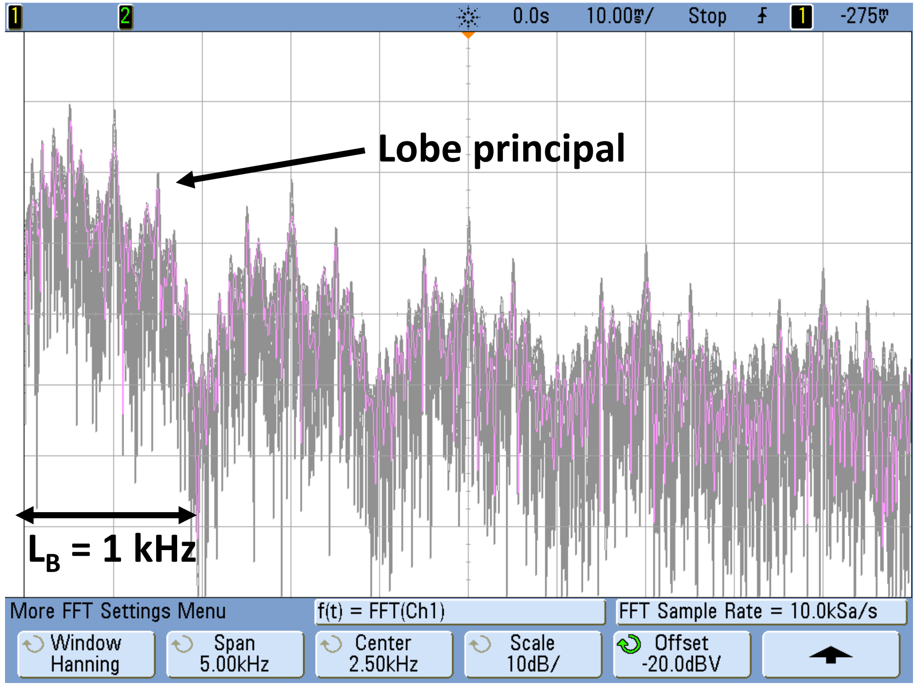
Le codage 2B1Q est un codage utilisé dans les réseaux de transport. Il présente 4 symboles soit 2 bits par symbole.

0 0	- 3	$\rightarrow$ -A
0 1	- 1	
1 0	+ 3	$\rightarrow$ +A
1 1	+ 1	

Exemple du codage 2B1Q



FFT

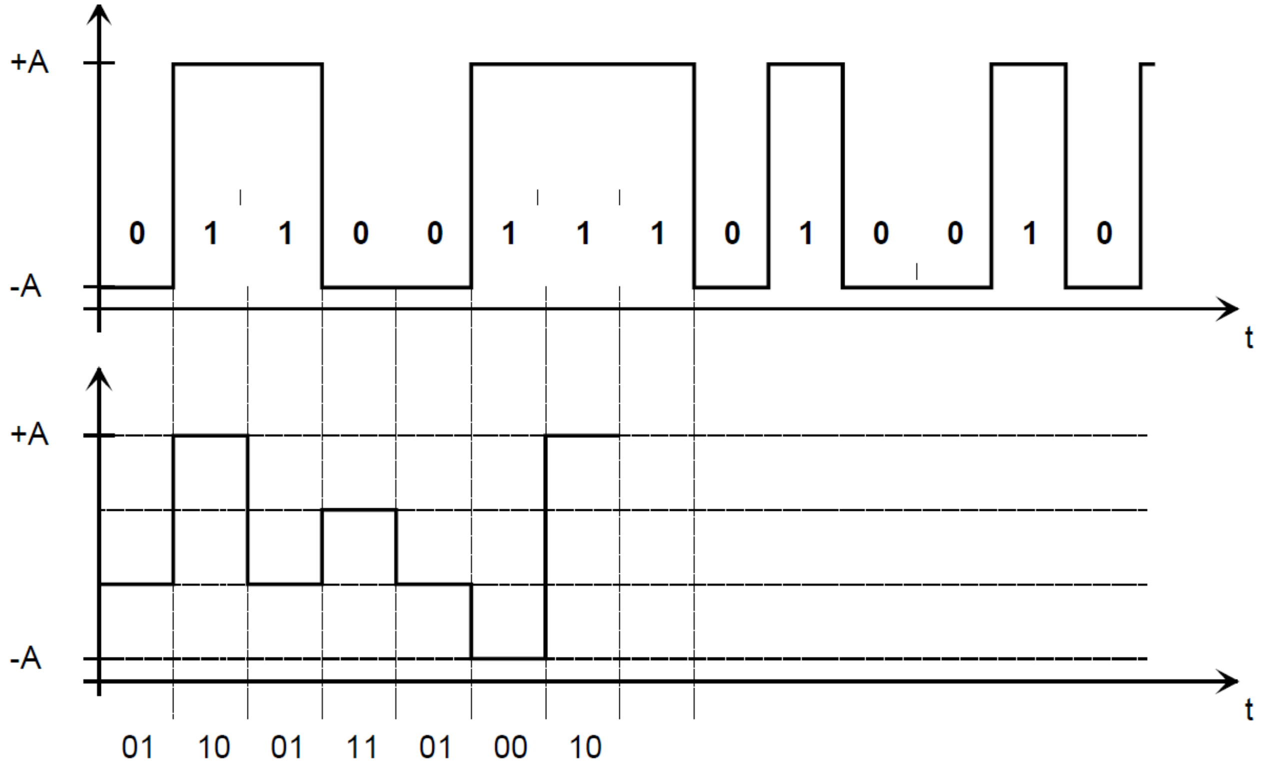


$$\dot{M} = 1/T_S = 1 \text{ kSymb/s}$$

IV.2 Utilisation d'un codage multi-symbole pour augmenter le débit binaire

Exemple du codage 2B1Q : codage à 4 symboles soit 2 bits par symbole

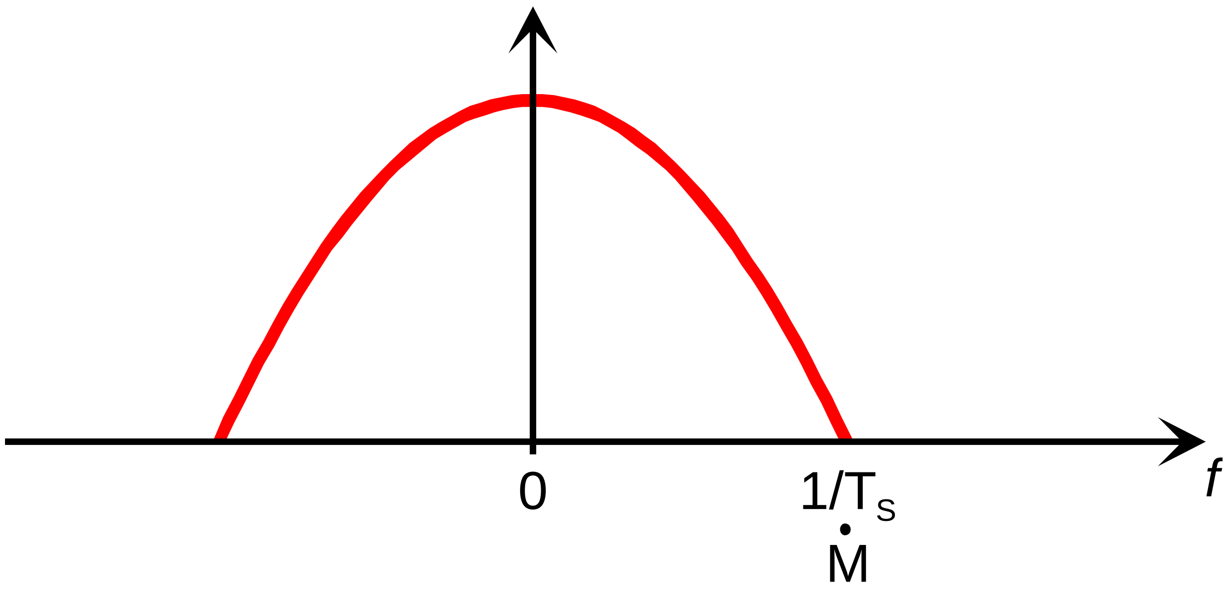
0 0	- 3	→ -A
0 1	- 1	
1 0	+ 3	→ +A
1 1	+ 1	



Dans les deux cas, la durée d'un symbole est la même. Pour le codage NRZ un seul bit est transporté par un symbole alors que pour le codage 2B1Q, deux bits sont transportés par un symbole.

Donc $\dot{\mathbf{D}}_{\mathbf{2B1Q}} = \mathbf{2.}\dot{\mathbf{D}}_{\mathbf{NRZ}}$

La largeur de spectre dépend du débit des symboles et non du débit binaire. Autrement dit, ces deux signaux ont une largeur de spectre équivalente.



Conclusion :

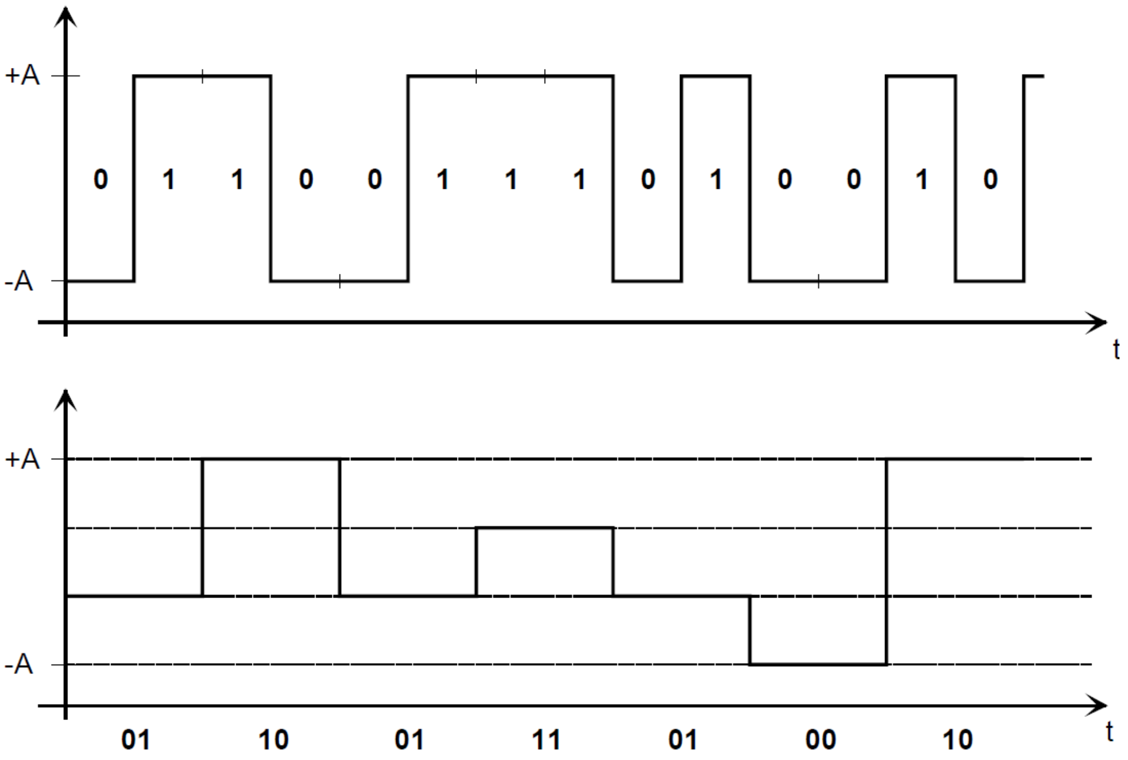
Pour la même largeur de spectre, nous avons un débit binaire 2 fois plus important avec le codage 2B1Q.

IV. Utilisation des codages multi-symboles

IV.3 Utilisation d’un codage multi-symbole pour diminuer la largeur de spectre

Exemple du codage 2B1Q : codage à 4 symboles soit 2 bits par symbole

0 0	- 3	→ -A
0 1	- 1	
1 0	+ 3	→ +A
1 1	+ 1	

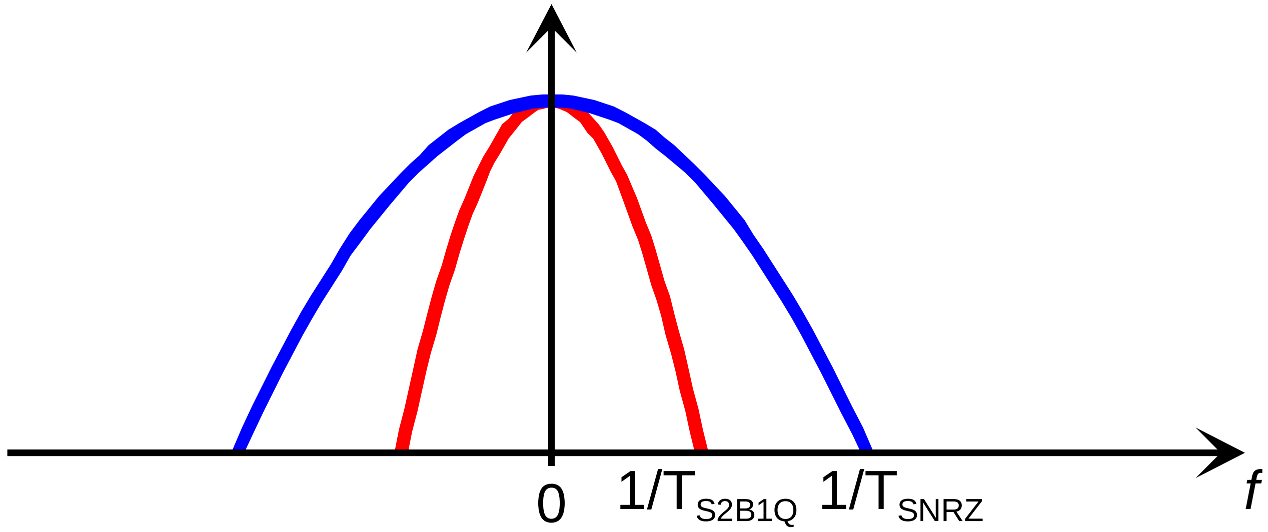


Ici, nous voyons que pour transporter ces 14 bits, le temps de transfert est le même, donc $\dot{D}_{2B1Q} = \dot{D}_{NRZ}$

Par contre, $T_{S2B1Q} = 2.T_{SNRZ}$

donc : $\dot{M}_{2B1Q} = \dot{M}_{NRZ}/2$

La largeur de spectre dépend du débit des symboles et non du débit binaire. Autrement dit, ces deux signaux n'ont pas la même largeur de spectre.



Conclusion :

Pour le même débit binaire, nous avons une largeur de spectre 2 fois moins importante avec le codage 2B1Q.

IV. Utilisation des codages multi-symboles

IV.4 Valence d'un signal

On appelle valence du signal et on la désigne par ***v***, le nombre d'états significatifs (ou niveaux, ou symboles) que peut prendre le signal (NRZ $\rightarrow$ v = 2 ; 2B1Q $\rightarrow$ v = 4).

Le débit binaire s'exprime :

$$\boxed{\dot{D} = \dot{M}.\log_2 v}$$

Donc : $$\dot{D}_{MAX} = 2.B_P.\log_2 v$$ d'après le 1er critère de Nyquist

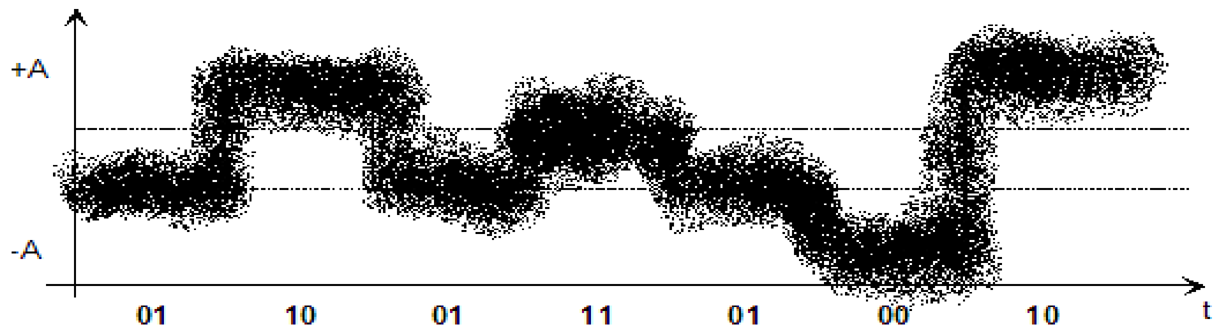
IV. Utilisation des codages multi-symboles

IV.5 Conclusion

Pour un canal à bande passante limitée :

- on peut augmenter le débit binaire en augmentant la valence du signal tout en maintenant le débit des symboles constant (largeur de spectre du signal constante et respect du critère de Nyquist).
- on peut diminuer la largeur de spectre du signal en augmentant la valence du signal tout en maintenant le débit binaire constant.

Cependant, on ne peut pas augmenter indéfiniment la valence car les niveaux d'amplitude à discriminer deviennent si faibles qu'ils ne peuvent être distinguer du bruit.



V. Transmission en milieu bruité

V.1 Prise en compte du bruit

Les signaux transmis sur un canal peuvent être perturbés par des phénomènes parasites électriques ou électromagnétiques désignés sous le terme générique de « **bruit** ».

Le rapport entre la puissance du signal (P_S) (porteur de l'information) et celle du signal de bruit (P_N) (perturbations) qualifie le canal vis à vis du bruit.

Ce rapport appelé « **rapport signal sur bruit** » (ou $R_{S/N}$ ou S/N) s'exprime en dB.

$$[S/N]_{dB} = 10 \,.\, \mathit{log}\ P_S/P_N$$

V.2 Capacité d’un canal bruité, relation de Shannon

Shannon a montré en 1948, qu’en milieu bruité, le nombre maximum d’états discernables du signal (valence) est donné par la relation :

$$\boxed{n = v_{max} = \sqrt{1 + \frac{P_S}{P_N}}}$$

D’où la **capacité** d’un canal (débit binaire théorique maximal possible) :

$$\boxed{C = B_P \,.\log_2\left[1 + \frac{P_S}{P_N}\right]} \qquad \text{[bits/s]}$$

– FIN du Chapitre 2 –

Concepts fondamentaux pour les transmissions numériques