



Cours : Communications numériques

Enseignante : Dhikra Saffar Amira

1ere année mastère ASSIR

Plan

- Introduction à la transmission numérique
- Les transmissions en bande de base
- Les transmissions sur fréquence porteuse



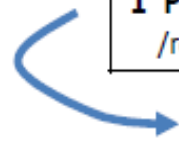
Chapitre 1 : Introduction aux transmissions numériques

PLAN

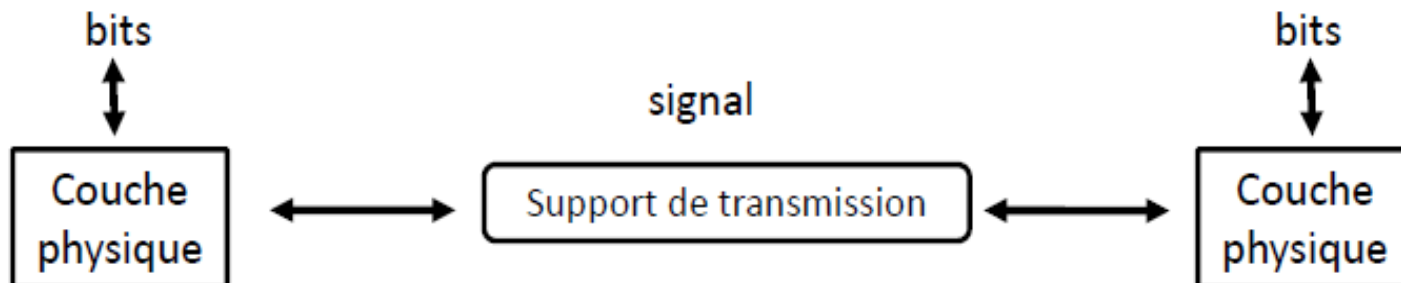
- Transmission Numérique vs Analogique
- Chaîne de transmission numérique
- Information, codage et numérisation
- Les modes de transmission (Synchrone et Asynchrone)
- Transmission en bande de base et transmission large bande
- Débit binaire et capacité d'un canal
- Interférences entre symboles et critère de Nyquist
- Transmission en milieu bruyant

Positionnement du cours dans le modèle OSI

| |
|---|
| 7 Application (Interfaçage avec les systèmes utilisateurs) |
| 6 Présentation (Syntaxe et présentation des données) |
| 5 Session (Mise en place du dialogue entre tâches distantes, synchronisation, vérification des droits d'accès) |
| 4 Transport (transport des messages, constitution et contrôle des paquets) |
| 3 Réseau (établissement et rupture des communications, routage et contrôle de flux) |
| 2 Liaison logique (établissement d'une communication point à point, protocoles d'échanges des données et correction des erreurs, contrôle de l'accès au support de transmission) |
| 1 Physique (modulation/démodulation, transcodage pour le support utilisé, émission /réception, régénération du signal) |



Couche Physique du modèle OSI : « Transmission »



Transmission Numérique

***Message
Numérique***
(ou numérisé)

transmis au travers d'un

support
(physique)
Analogique

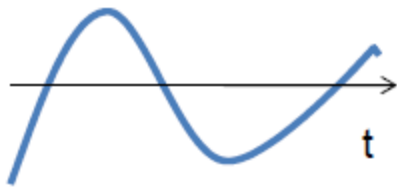
Séquence de symboles
∈ Alphabet fini (taille N)

signal continu
ex: ondes radio ou acoustiques

Numérique vs Analogique

----- Transmission Analogique -----

Message



« Canal Analogique »

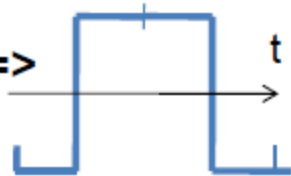


Critère de
Qualité ?

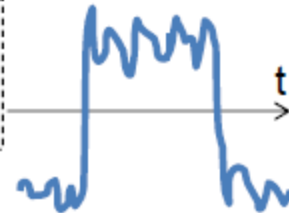
----- Transmission Numérique -----

Message

...0110 =>



« Canal Analogique »



décision

...0110

Numérique vs Analogique

trans. Analogique

- Message:
fonction continue du temps
avec une infinité de valeurs
possibles
(\leftrightarrow information analogique)
- Critère de Qualité :
*fidélité, Rapport Signal à
Bruit (RSB)*

trans. Numérique

- Message:
série de symboles (discrets),
pris dans un alphabet fini
(bits si $N=2$) connu à la
réception
- Critère de Qualité :
Taux d'Erreur Binaire (TEB)

Numérique vs Analogique

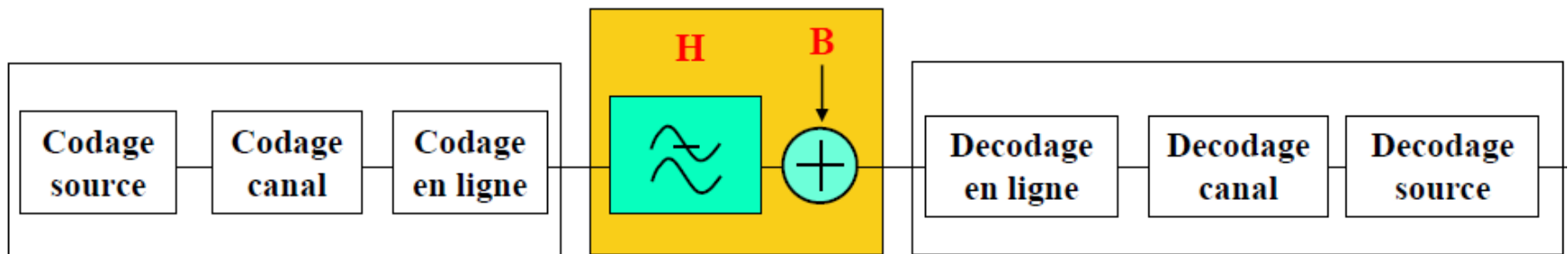
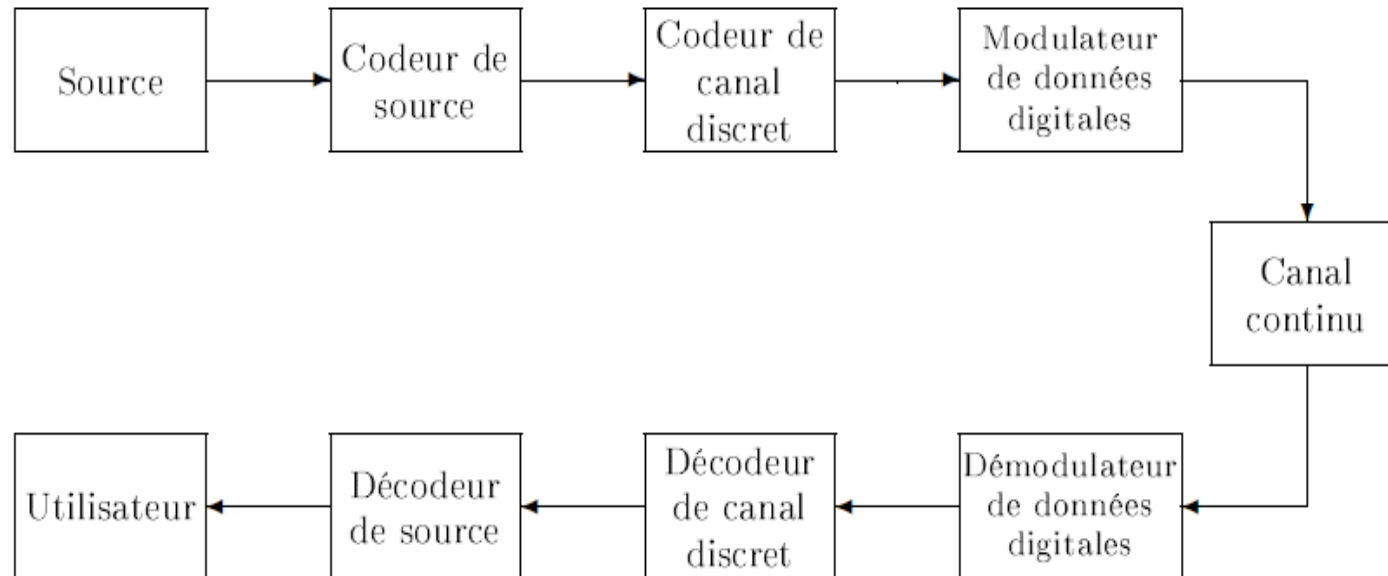
Avantages

- faible SNR requis
- Protection « infinie » contre le bruit possible grâce au codage
- Facilité des traitements numériques:
pour multiplexer, transformer, régénérer, mémoriser, ...

Inconvénients

- Bande passante +large
... mais possibilité de compression, de modulation à plus grand nombre d'états, ...
- Délai dû au codage/décodage ou aux autres traitements numériques
- Consommation si puissance de calcul importante

Chaine de transmission numérique



Chaine de transmission numérique

Codage source : compression de l'information, ou comment réduire la quantité de données binaires transmises (symboles codés par des mots de longueurs variables, algorithme de Huffman...)

Codage canal : redondance pour la correction des erreurs causées par le bruit additif du canal (but : améliorer le BER). reproduire le plus fidèlement possible la séquence binaire émise malgré le passage à travers le canal bruité.

Codage en ligne/Modulation : mise en forme des données sous forme d'impulsions/signaux adaptés aux caractéristiques du support de transmission.

Information, codage et numérisation

Information

- Les informations qui transitent sur les réseaux informatiques existent sous des formes diverses (textes, sons, images fixes ou animées, vidéo, etc....).
- Ces informations peuvent être réparties en 2 catégories :

Les données discrètes :

- L'information correspond à une suite discontinue d'éléments indépendants les uns des autres et dénombrable (c'est un ensemble fini).
- Ex : - un texte, qui est un ensemble de lettres (ou de symboles) qui forment des mots,
 - une image, qui est un ensemble de pixels.

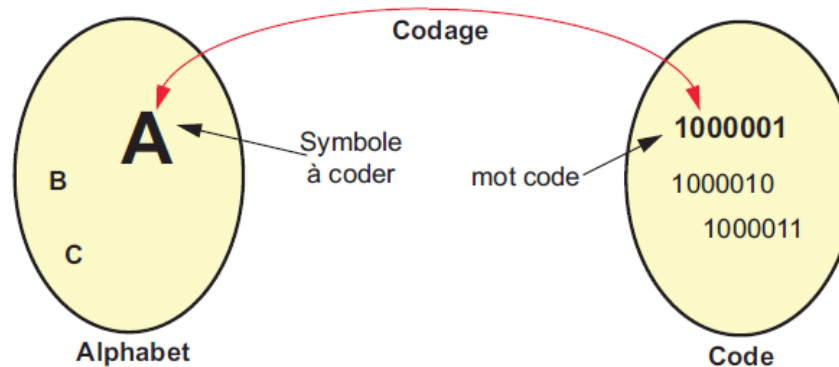
Les données continues ou analogiques :

- Elles résultent de la variation continue d'un phénomène physique.
- Ex: le son : le son se propage dans l'air sous forme d'une onde.

Information, codage et numérisation

- **Codage de l'information**

- Coder l'information consiste à faire correspondre à chaque symbole d'un alphabet (élément à coder) une représentation binaire (mot code). L'ensemble des mots codes constitue le code.



- Il existe 2 types de codes :

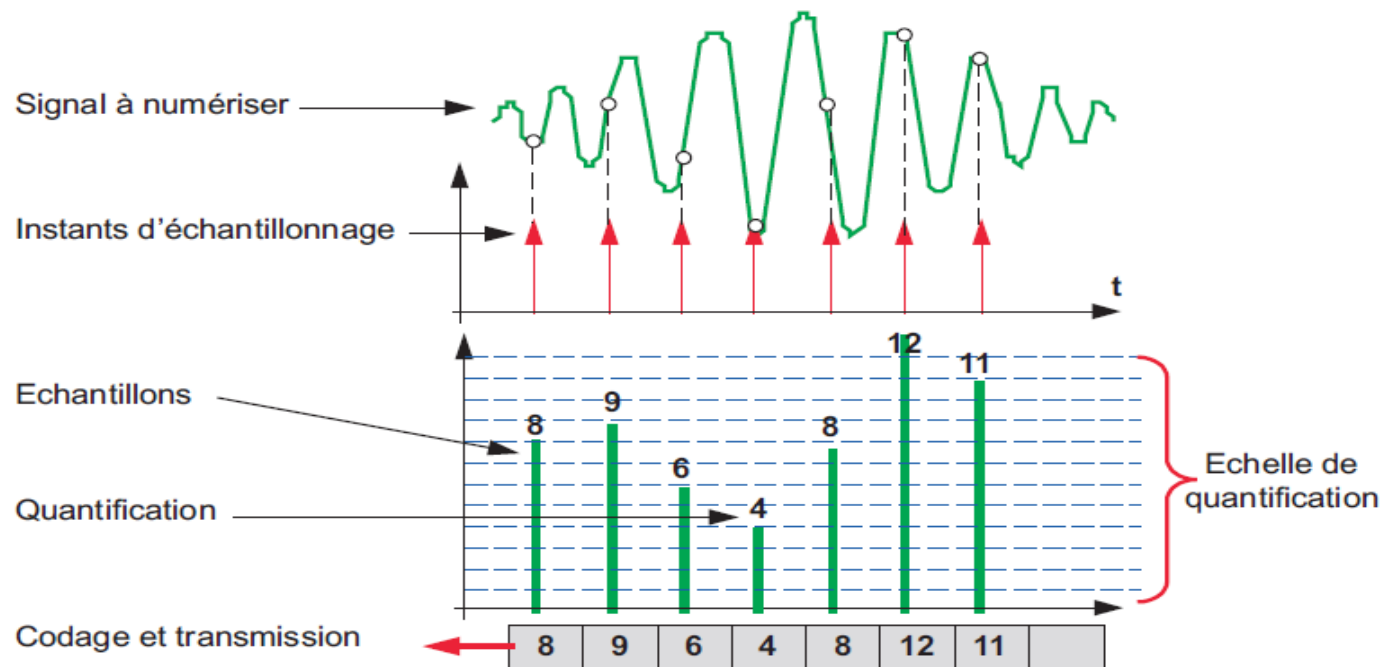
Codes de longueur fixe : chacun des états du système est équiprobable (ASCII, EBCDIC)

Codes de longueur variable : prend en compte la fréquence d'apparition d'un état (Huffman)

Information, codage et numérisation

Numérisation

- **Echantillonnage** : discrétisation en temps
 - transformer la suite continue de valeurs en une suite discrète et finie.
 - Prélever à des instants significatifs, un échantillon du signal

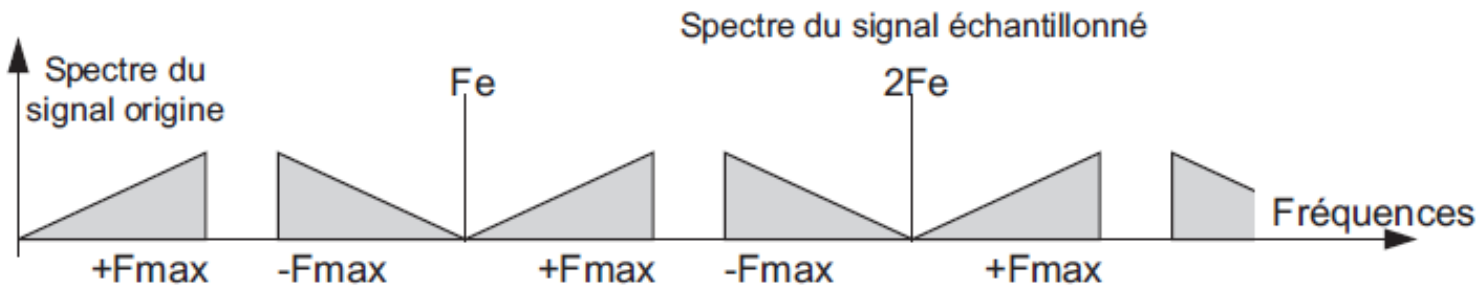


Information, codage et numérisation

- une erreur de quantification ou bruit de quantification : la différence entre la valeur réelle de l'échantillon et la valeur quantifiée
- Pour reproduire correctement le signal à l'arrivée, le récepteur doit disposer d'un minimum d'échantillons.
 - ➔ Il existe donc une relation étroite entre la fréquence maximale des variations du signal à discrétiser et le nombre d'échantillons à prélever.
- si F_e est la fréquence d'échantillonnage, le spectre du signal échantillonné est centré autour de $F_e, 2F_e, \dots, nF_e$.

Information, codage et numérisation

- Pour éviter tout recouvrement de spectre, le signal à échantillonner doit être borné (filtre) à une fréquence supérieure telle que F_{\max} soit inférieure à la moitié de l'intervalle d'écartement des spectres (F_e).



- la fréquence minimale d'échantillonnage (fréquence de Nyquist) d'un signal doit être le double de la fréquence maximale du signal à échantillonner :

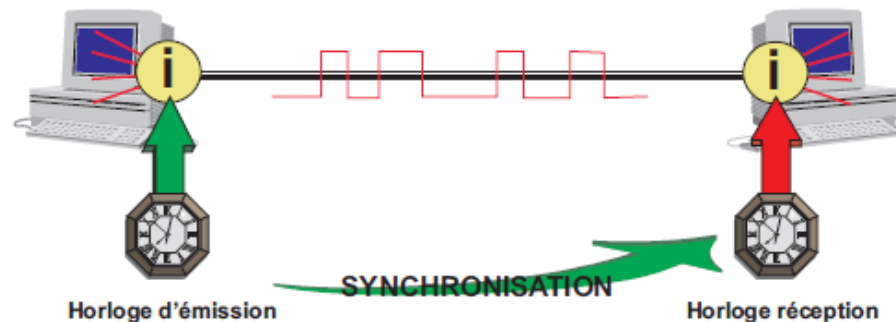
$$F_{\text{échantillon}} \geq 2 \cdot F_{\text{max du signal}}$$

Information, codage et numérisation

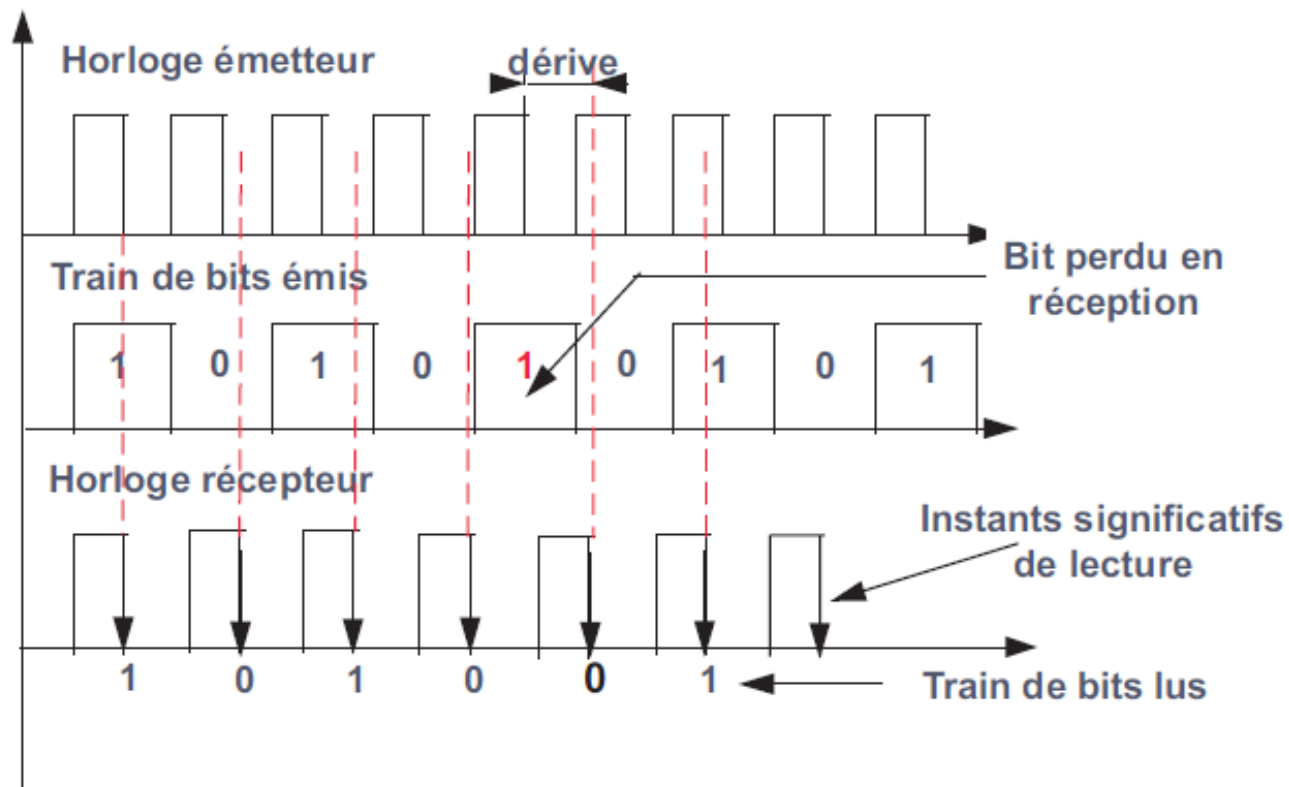
- **Quantification** : discrétisation en amplitude
 - Exprimer l'amplitude de l'échantillon par rapport à une échelle finie (quantification).
 - Approximation à la valeur la plus proche parmi Q niveaux de quantification
- Cas de la quantification uniforme sur n bits $Q = 2^n$ niveaux
si amplitude $a \in [-A; +A[\Rightarrow$ pas de quantification $q = 2A / 2^n$.
- Bruit de quantification : $b_q[k] = a[k] - a_q[k]$

Notion d'horloge

- Les bits sont émis sur la ligne à une certaine cadence.
 - Cette cadence est définie par une horloge dite horloge émission.
 - Pour décoder correctement la suite de bits reçue, le récepteur doit examiner ce qui lui arrive à une cadence identique à celle de l'émission des bits sur le support.
- ➔ Les horloges récepteur et émetteur doivent «battre » en harmonie



Notion d'horloge



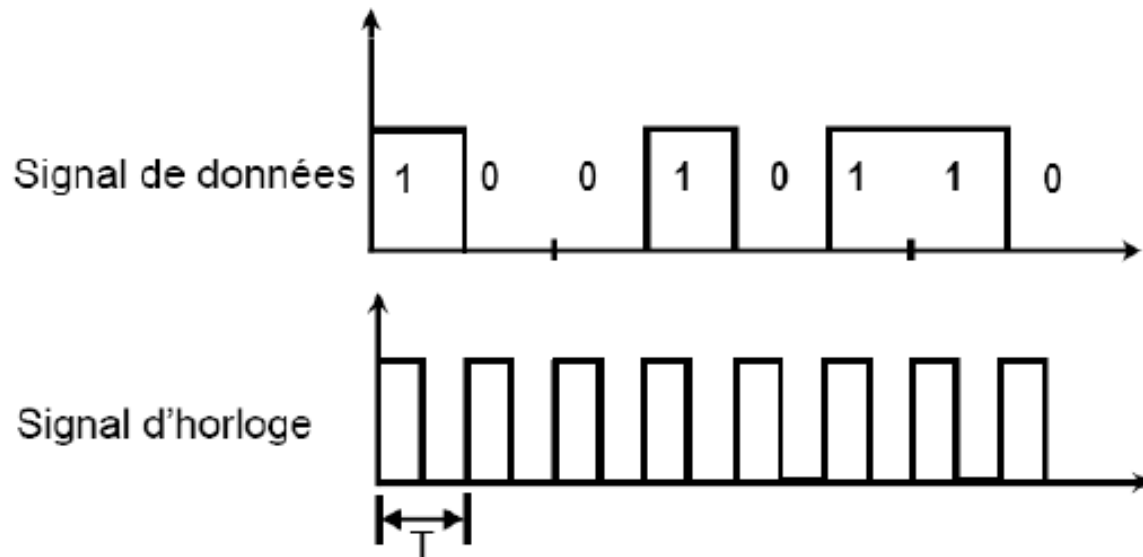
Les modes de transmission

- Il faut que les instants d'analyse des niveaux électriques de la ligne soient les mêmes pour les deux éléments, ils sont dits en phase.
- L'opération qui consiste à asservir l'horloge de réception sur celle d'émission s'appelle **la synchronisation**.
- Selon le mode de synchronisation de l'horloge du récepteur sur celle de l'émetteur, on distingue deux types de transmission :
 - **les transmissions asynchrones** : les horloges sont indépendantes
 - **les transmissions synchrones** : on maintient en permanence une relation de phase stricte entre les horloges émission et réception

Les Modes de transmission

transmission série synchrone

- Avant chaque émission de donnée, l'émetteur envoie une séquence destinée à synchroniser l'horloge du récepteur.
- Pendant toute la durée de l'émission, l'émetteur et le récepteur restent synchronisés.
- Il est alors possible de transmettre des blocs de taille importante.



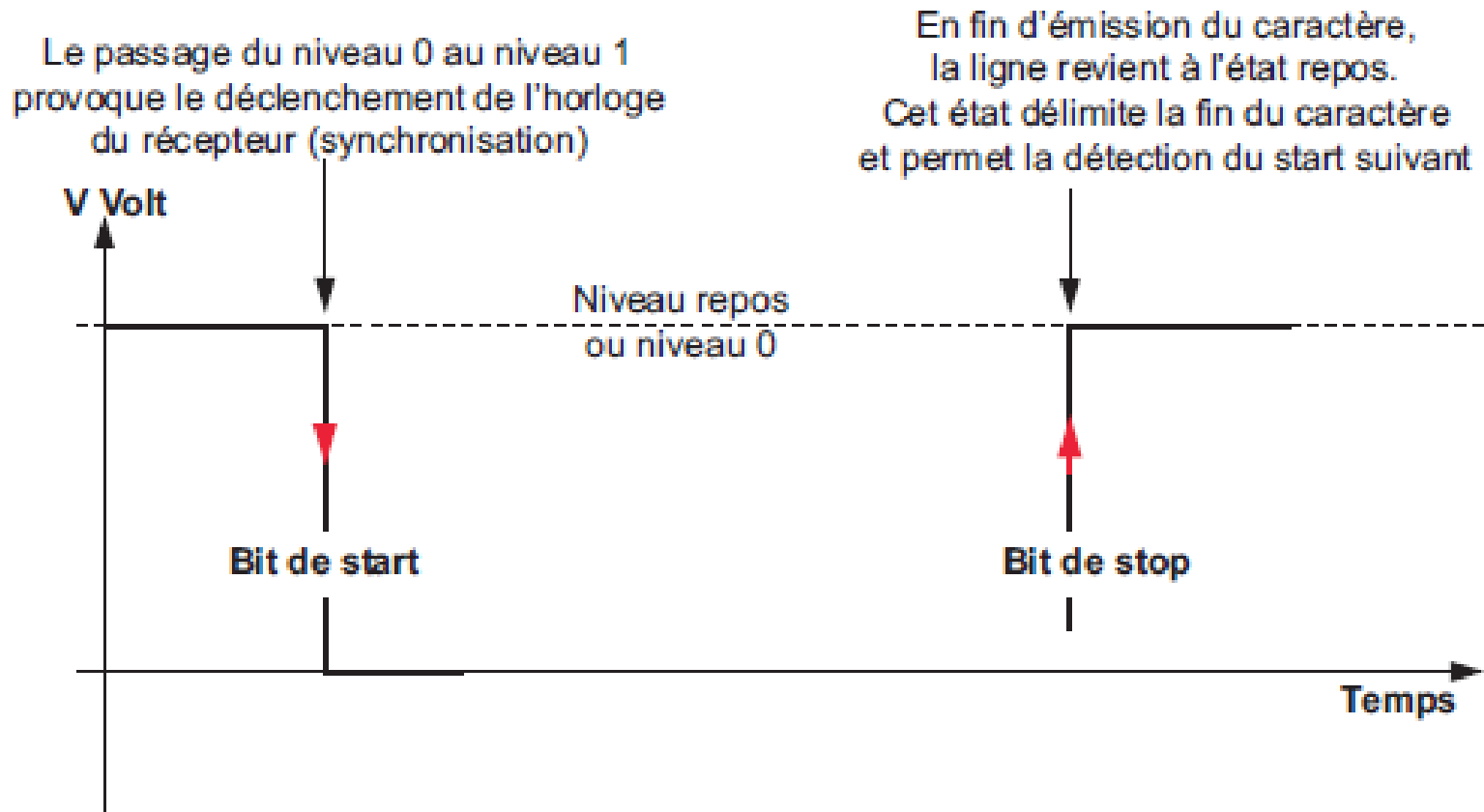
Les Modes de transmission

transmission série asynchrone

- Dans une transmission asynchrone, les caractères sont émis de façon irrégulière.
- Utiliser des bits START et STOP pour indiquer le début et la fin d'une transmission.
- les caractères émis sont précédés d'un signal de synchronisation : **le bit de start.**
- Entre chaque caractère, pour garantir la détection du bit de start suivant, la ligne est remise à l'état zéro. Ce temps de repos minimal varie de 1 à 2 temps bit, il constitue le ou les **bits de stop**

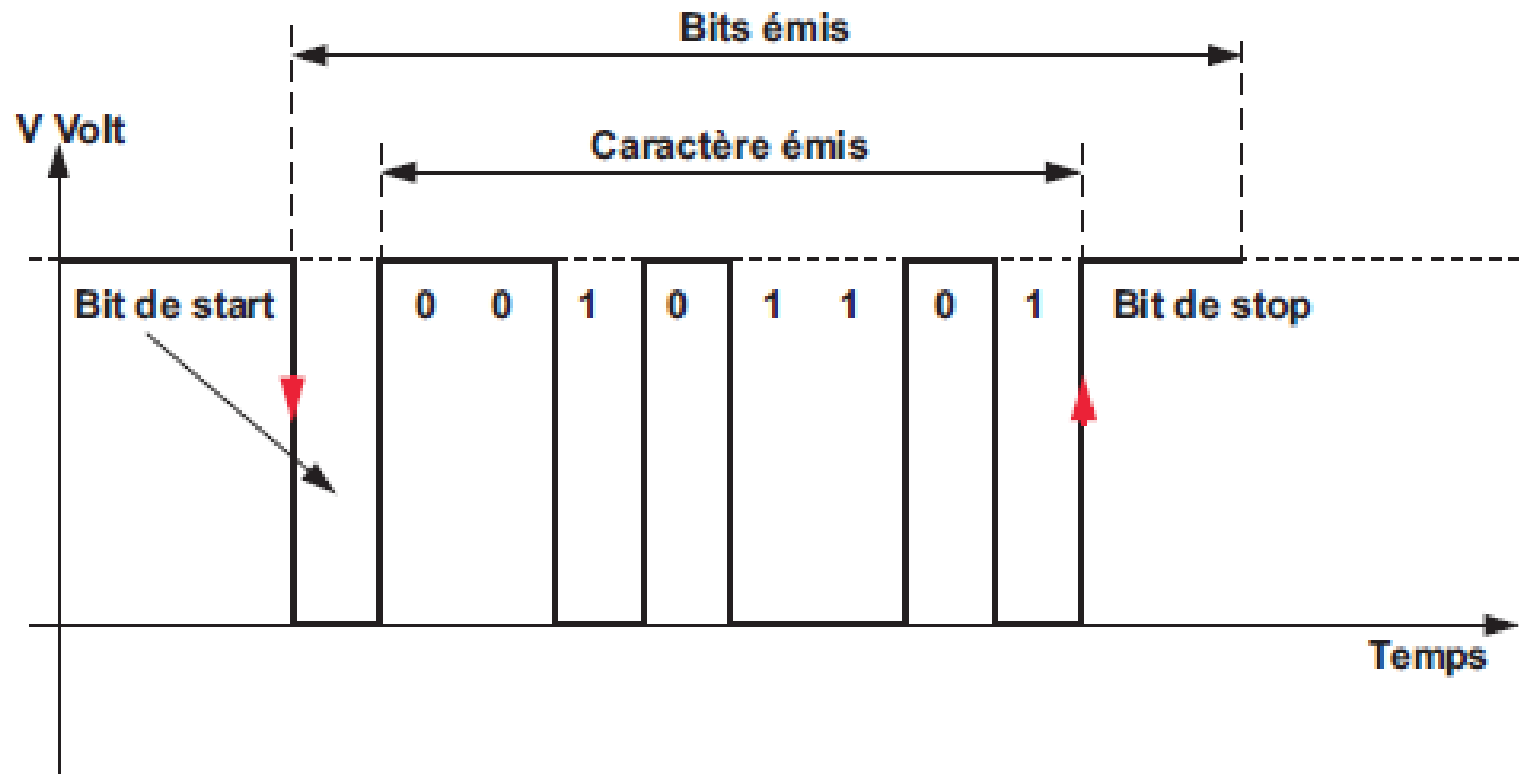
Les Modes de transmission

transmission série asynchrone



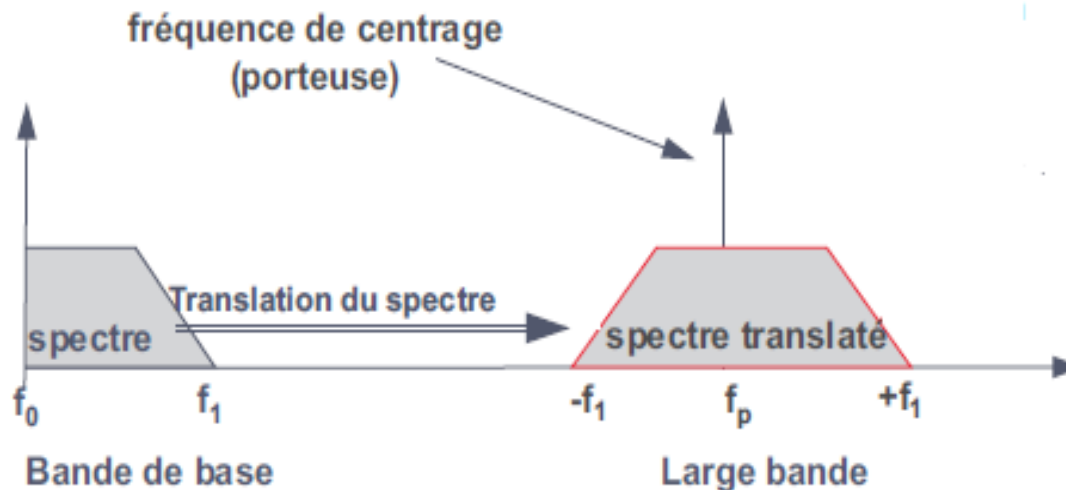
Les Modes de transmission

transmission série asynchrone



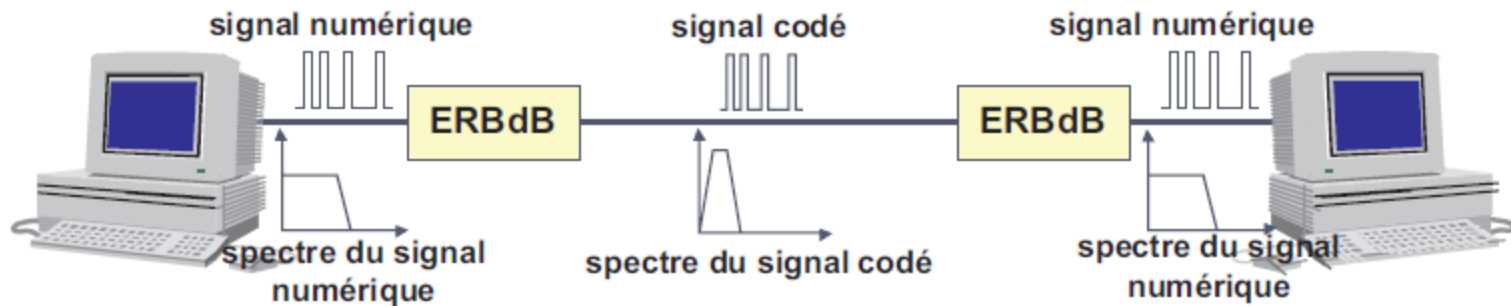
Transmission en bande de base et large bande

- **Transmission en bande de base** : pas d'écart de fréquence entre les signaux émis et ceux reçus.
- les signaux sont transmis d'une façon numérique
- **Transmission en large bande** : translate le spectre du signal à émettre dans une bande de fréquences mieux admise par le système.

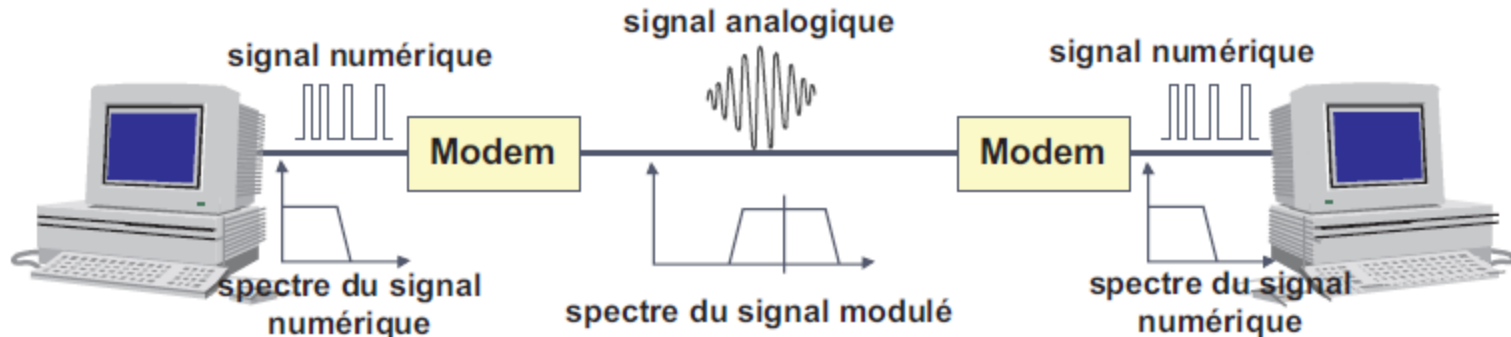


Transmission en bande de base et large bande

Transmission en bande de base



Transmission en large bande



Rapidité de modulation et débit binaire

Nous définissons:

- **L'intervalle significatif (en secondes) T**, l'intervalle de temps pendant lequel le signal ne varie pas.
- **La rapidité de modulation R (en bauds)** comme le nombre d'intervalles significatifs par seconde :

$$R = 1/T \text{ (en bauds)}$$

- **n** est le nombre de bits par intervalle significatif.
- **La valence V**, le nombre de niveaux significatifs d'un signal.

$$V = 2^n \text{ et } n = \log_2(V)$$

Rapidité de modulation et débit binaire

- **Le débit binaire D** qui est le nombre de bits transmis en une seconde est alors donné par

$$D = \log_2(V) * R = nR \text{ (en bits/s)}$$

- **Exemple 1 : Codage binaire**

- Avec 2 niveau de tension (0,1), l'intervalle T transporte un élément binaire (bit) :

$$R \text{ (bauds)} = 1/T = D \text{ (bit/s)}$$

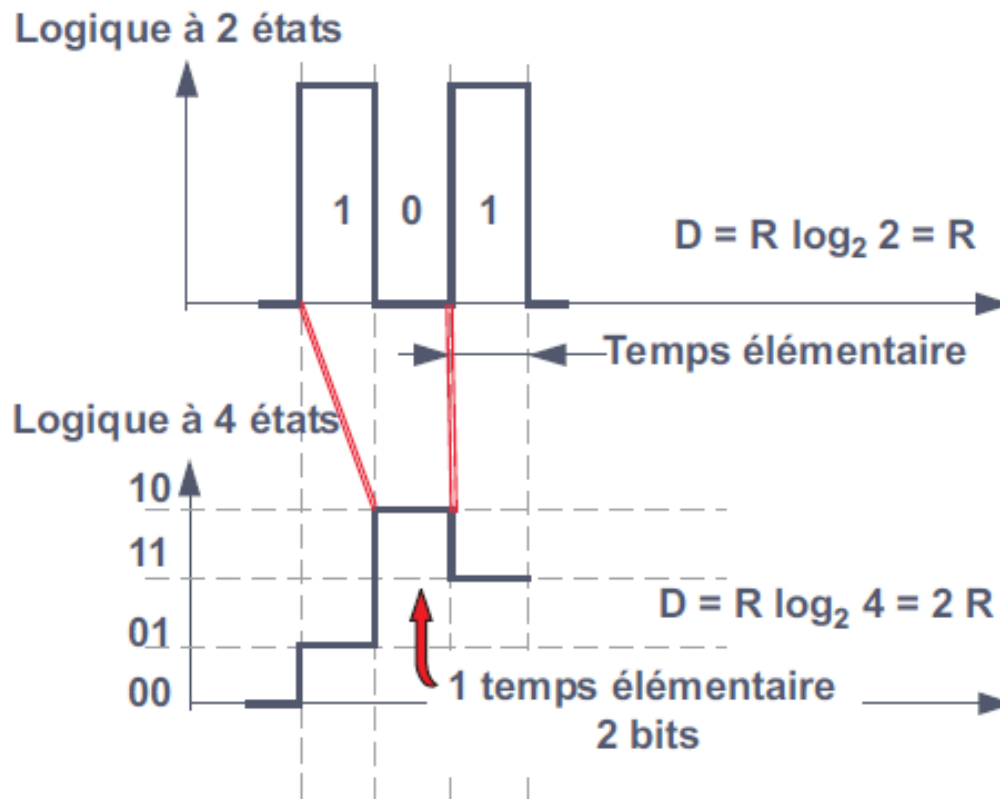
- **Exemple 2 : Codage quaternaire**

- Avec 4 niveaux de tension (00,01,10,11), l'intervalle T transporte 2 bits.

$$R \text{ (bauds)} = 1/T, n=2 \text{ et } D=2/T \text{ (bit/s)}$$

Rapidité de modulation et débit binaire

- Exemple 1/2 :



Rapidité de modulation et débit binaire

Augmenter le débit

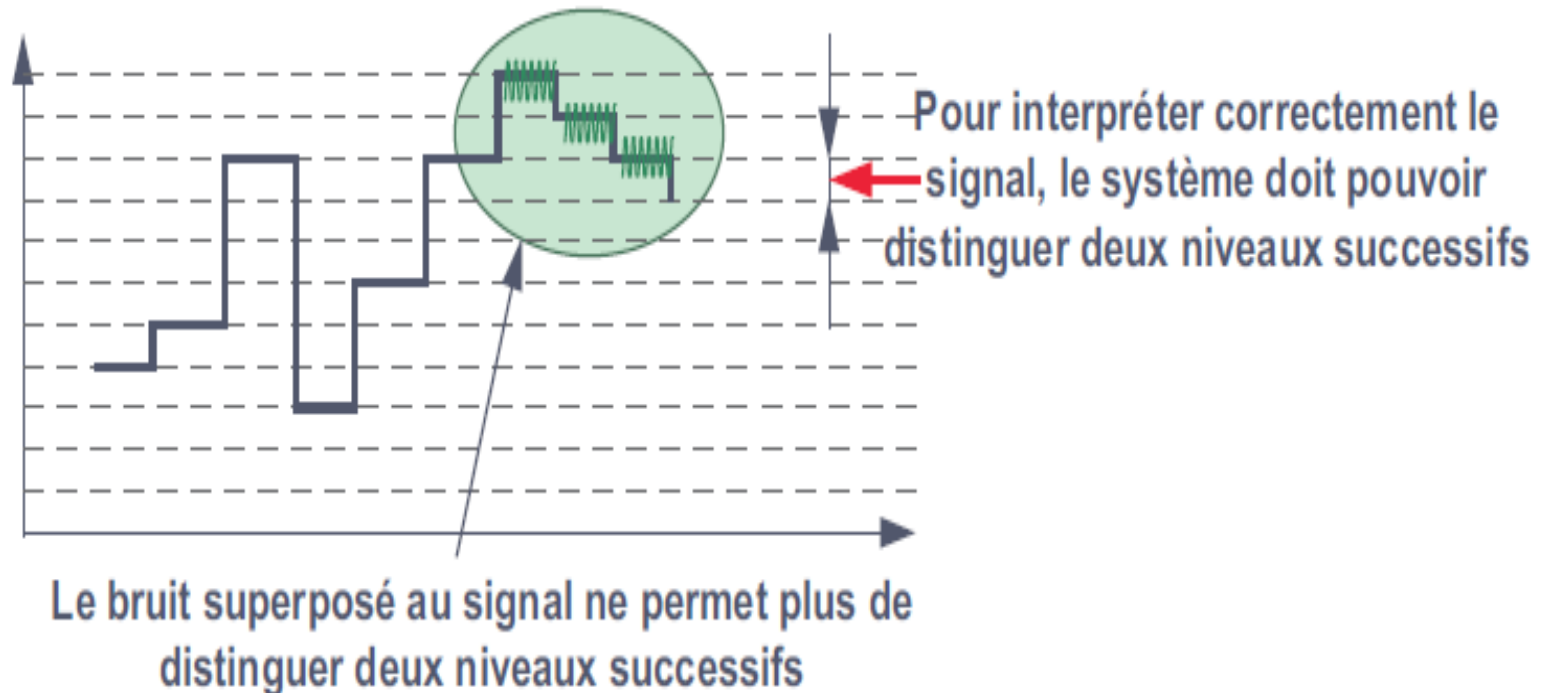
Augmenter :

- la bande passante du canal
- et/ou la valence du signal transporté

Limites

- La bande passante est limitée par le système de transmission (support...)
- on ne peut augmenter indéfiniment le nombre d'états du signal (valence), car les niveaux d'amplitude à discriminer deviennent si faibles qu'ils ne peuvent être distingués du bruit.

Rapidité de modulation et débit binaire



Limitation du nombre d'états par le bruit

Transmission en bande de base (IES)

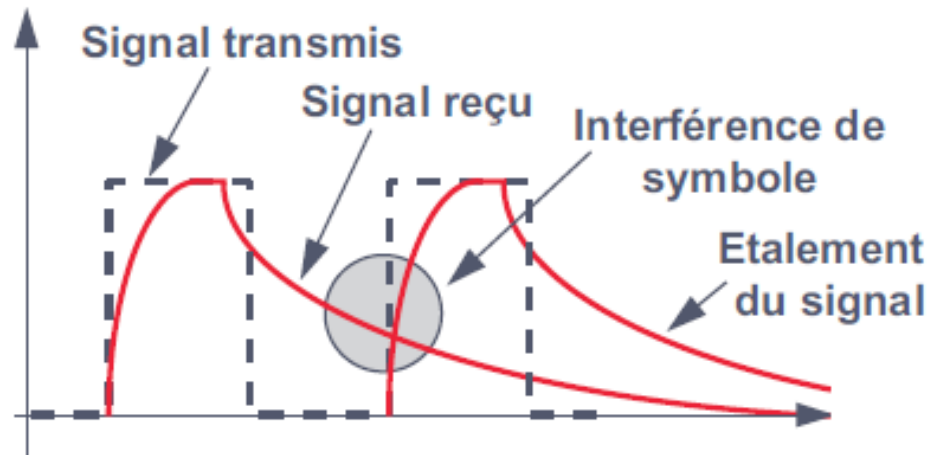
- **Interférences entre symboles (IES)**
- Une ligne ou canal de transmission se comporte comme un **filtre passe-bas**, les différentes composantes sont atténuées (distorsion d'amplitude) et retardées (distorsion de phase).

➔ Étalement du signal.

- Dans des conditions limites, cet étalement a pour conséquence que la fin d'une impulsion transmise se confond avec le début de la suivante

➔ Les circuits électroniques ne peuvent distinguer deux impulsions successives : **Interférence de symboles (IES)**

Transmission en bande de base (IES)



La rapidité de modulation doit toujours être inférieure à 2 fois la bande passante du support $R \leq 2W$ (Critère de Nyquist).

Transmission en bande de base (IES)

Application au canal téléphonique

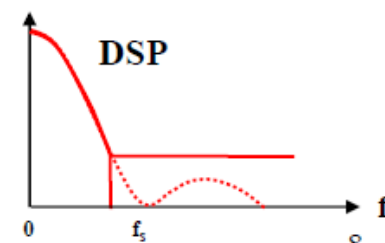
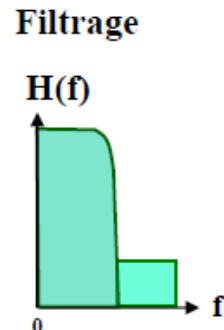
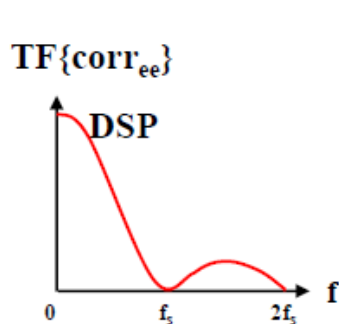
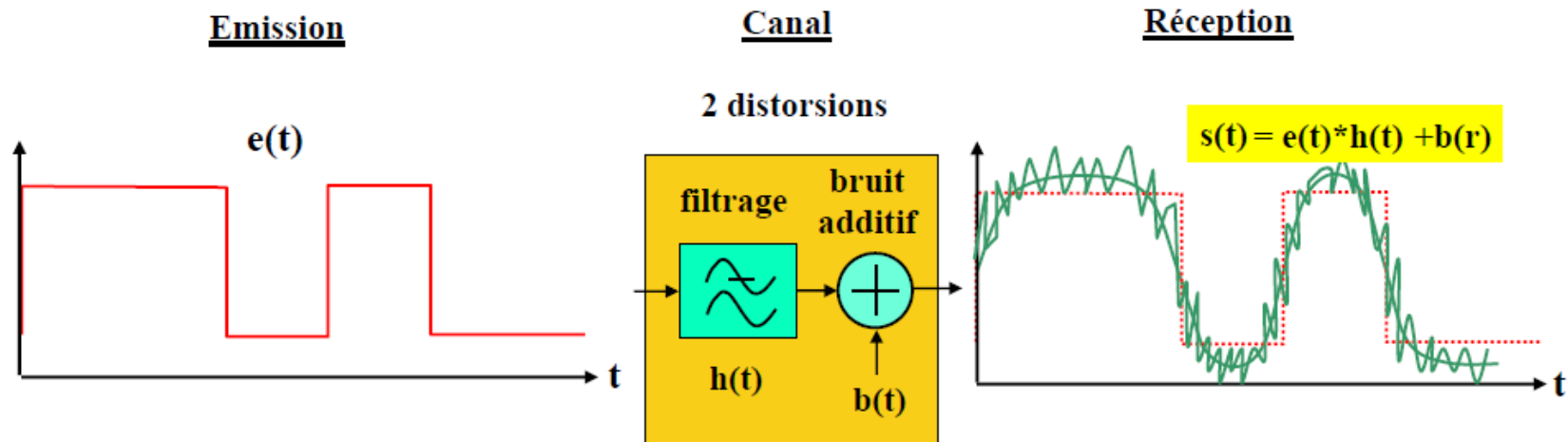
Quelle est la rapidité de modulation maximale admissible sur une voie téléphonique caractérisée par une bande passante (BP) allant de 300 à 3 400 hertz ?

Transmission en milieu bruyant

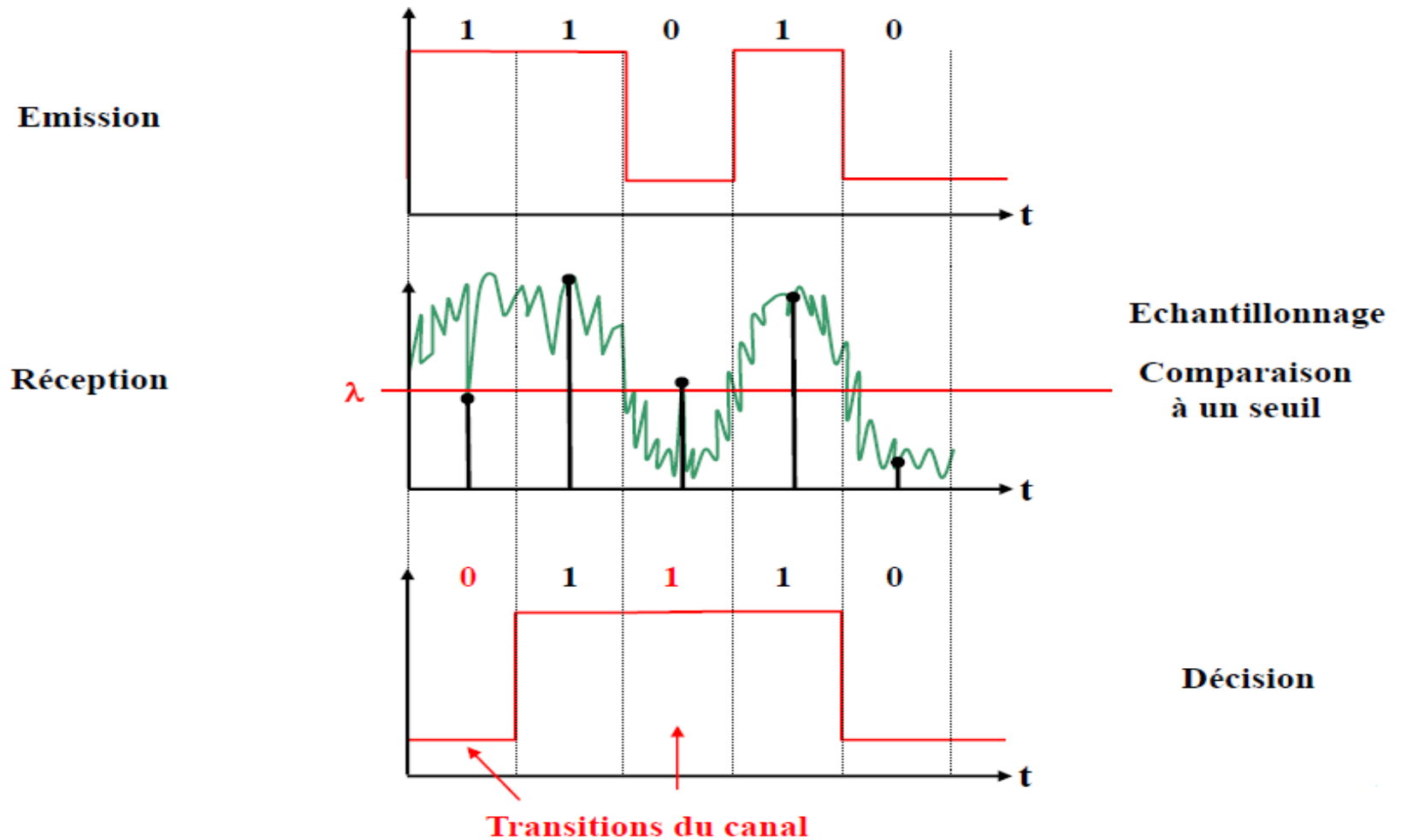
- **Bruit** : des phénomènes électriques ou électromagnétiques qui peuvent perturber les signaux transmis sur un canal
- **bruit blanc**
 - provient de l'agitation thermique des électrons.
 - Ses composantes (raies de fréquence) sont réparties dans le spectre des fréquences,
 - Amplitude généralement faible, il est peu gênant pour les transmissions.
- **bruit impulsionnel**
 - une perturbation brève qui a pour origine l'environnement physique du canal de transmission (parasite d'origine électromagnétique).
 - Intensité élevée et de courte durée,
 - provoque des erreurs portant sur un ensemble de bits.

Transmission en milieu bruyant

- Distorsions subies par l'information numériques et conséquences sur la qualité de la transmission :



Transmission en milieu bruyant



Capacité d'un canal perturbé, relation de Shannon

- En milieu perturbé, le nombre maximal d'états discernables ou **valence** est donné par la relation

$$V = \sqrt{1 + \frac{S}{N}}$$

- La capacité maximale de transmission d'un canal est :

$$C = 2.BP.\log_2 V = BP.\log_2 (1 + S / N)$$

Caractérisation d'un support de transmission

- **Exemple**

Appliquez la relation de Shannon à un circuit téléphonique et déterminez la capacité maximale théorique du canal, sachant que la bande passante est de 300-3 400 Hz et le rapport signal à bruit (S/B) est de 30 dB.