



**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la**  
**Recherche Scientifique**  
**Université Larbi ben Mhidi Oum El Bouaghi**  
**Institut des Sciences et Techniques Appliquées Ain**  
**Mlila (ISTA Ain Mlila)**



# Systemes de transmission numérique

**2 Année Licence : Réseaux et Télécommunications**

**Auteur :**  
***Dr. Hamouda Amar***  
***Maitre de conférences classe B***  
***2020/2021***

## PREFACE

Le cours de la transmission numérique est principalement destiné aux étudiants de la deuxième année licence de l'Institut des Sciences et de la Technologie appliquée à Ain Mlila Univ-OEB, *option : Réseaux et Télécommunications*.

Il sert de base pour le cours des Systèmes de transmission numérique et permet à l'étudiant de saisir les principes de fonctionnement des systèmes de Télécommunications. La notion essentielle développée dans les premières pages est l'interprétation d'un schéma synoptique d'une chaîne de transmission numérique. L'étudiant est ensuite sensibilisé à la notion de numérisation d'un signal analogique (échantillonnage, quantification et le codage), et les coûts de la numérisation du signal (d'un point de vue conception et d'occupation codage). L'étudiant sera capable de déterminer les objectifs principaux de chaque étape de numérisation. Puis, on a abordé les modes de transmission synchrone et asynchrone à savoir la différence entre la communication numérique synchrone et celle asynchrone ainsi que leurs principes de transmission. Dans le chapitre suivant, on a présenté les principaux codes afin de transmettre les connaissances nécessaires de transcodage information-signal aux étudiants. En fin, on a étudié l'influence du canal sur la transmission numérique (en bande de base et en bande transposée) afin de mettre l'étudiant capable de faire la différence entre les différents techniques de transmission et prendre sa décision du meilleur choix.

*Le cours est divisé en cinq chapitres :*

- 1. Synoptique d'une chaîne de transmission numérique.**
- 2. Numérisation (échantillonnage, quantification, codage).**
- 3. Caractérisation d'une transmission (mode synchrone, asynchrone, débit, valence, taux d'erreur).**
- 4. Transcodage information-signal (étude des principaux codes).**
- 5. Influence du canal sur la transmission (en bande de base et en bande transposée).**

## LISTE DES ACRONYMES

LASER	: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (amplification de la lumière par émission stimulée de radiation).
DRO	: Dielectric Resonator Oscillator (Oscillateur à résonateur diélectrique).
$P_e$	: La probabilité d'erreur.
TEB	: Taux d'Erreur par Bit.
CAN	: Convertisseur analogique numérique.
$T_e$	: Période d'échantillonnage.
$F_e$	: Fréquence d'échantillonnage.
Code ASCII	: American Standard Code for Information Interchange.
RZ	: Retour à zéro.
NRZ	: Non Retour à zéro.
ETCD	: L'équipement terminal de communication de données.
ISI	: Inter-Symbole Interference (Interférence inter-symbole)
dB	: Décibel.
B	: Bande passante.
BB	: Bande de base.
BT	: Bande transposée.
D	: Débit binaire.
S/N	: Signal/Noise (Signal/Bruit).

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.	: Schéma d'un système de transmission numérique.....	...4
Figure 2.	: A représente le signal analogique à échantillonné, B représente les échantillons du signal analogique.....	...6
Figure 3.	: Quantification du signal.....	...7
Figure 4.	: Le pas et la plage de quantification.....	...8
Figure 5.	: Chaîne de transmission numérique.....	..13
Figure 6.	: Horloge d'un réseau de transport.....	..14
Figure 7.	: La dérive de l'horloge réception occasionne la perte d'un bit.....	..15
Figure 8.	: Principe de la synchronisation en transmission asynchrone.....	..16
Figure 9.	: Caractère asynchrone.....	..17
Figure 10.	: Les modes d'asynchronisation : A mode caractère, B mode bloc....	..17
Figure 11.	: Transmission : A. Asynchrone, B. synchrone.....	..18
Figure 12.	: Signal d'horloge.....	..19
Figure 13.	: Code ASCII.....	..25
Figure 14.	: Développement du code ASCII en ASCII8859-1 puis en Unicode..	..26
Figure 15.	: Principe du code RZ.....	..27
Figure 16.	: Principe du codage NRZ.....	..27
Figure 17.	: Principe du code Manchester.....	..28
Figure 18.	: Codeur bande base.....	..29
Figure 19.	: Illustration des phénomènes d'atténuation et de retardement subit pour Un signal sinusoïdal traversant un canal.....	..32
Figure 20.	: Déformation du signal par le support de transmission.....	..33

# SOMMAIRE

Préface.....	i
Liste des acronymes.....	ii
Liste des figures.....	iii
Sommaire.....	iv
Introduction.....	1
I. Schéma synoptique d'un système de transmission numérique.....	3
I.1. Les fonctions de base du schéma synoptique d'un système de transmission numérique.....	3
I.2. Les caractéristiques principales des techniques de transmission.....	4
II. Numérisation du signal analogique.....	6
II.1. Introduction.....	6
II.2. L'échantillonnage du signal analogique.....	6
II.3. La quantification du signal.....	7
II.4. Théorème d'échantillonnage (Shannon 1949).....	8
II.5. Le codage.....	8
III. Transmission asynchrone, transmission synchrone.....	12
III.1. Introduction.....	12
III.2. Débit d'un signal.....	12
III.3. La valence.....	12
III.4. Le Taux d'Erreur par Bit TEB.....	13
III.5. Notion d'horloge.....	14
III.6. La transmission du signal de synchronisation.....	15
III.7. Transmission asynchrone.....	16
III.8. La transmission synchrone.....	18
IV. Transcodage information-signal (étude des principaux codes).....	23
IV.1. Les systèmes de numération.....	23
IV.1.1. Définition.....	23
IV.1.2. Notation.....	23
IV.2. Le transcodage.....	23
IV.2.1. Le transcodage du décimal vers une autre base (binaire, hexadécimal).....	24
IV.2.2. Le transcodage d'une base 2 vers une autre base (octal, hexadécimal).....	24
IV.2.2.1. Le transcodage du binaire vers l'octal.....	24
IV.2.2.2. Le transcodage du binaire vers l'hexadécimal.....	24
IV.2.2.3. Le transcodage de l'hexadécimal vers le binaire.....	24
IV.3. Les principaux codes.....	24
IV.3.1. le codage des caractères alphanumériques.....	24
IV.3.2. Code ASCII (American Standard Code for Information Interchange).....	24

IV.3.3	L'unicode.....	25
IV.3.4	Le codage RZ.....	26
IV.3.5	Le codage NRZ.....	27
IV.3.6	Le codage Manchester.....	27
IV.3.6	Le codage BHDn.....	28
V.	Influence du canal sur la transmission (en bande de base et en bande transposée).....	29
V.1.	La transmission en bande de base.....	29
V.2.	Intérêt du codage en bande de base.....	30
V.3.	Les différents codages en bande de base.....	30
V.4.	Les critères de choix d'un codage.....	30
V.5.	Les codages et résistances aux bruits.....	31
V.6.	Le codage et les problèmes d'horloge.....	31
V.7.	Régénération.....	31
V.8.	Confusion inter symbole.....	31
V.9.	L'influence du canal sur la transmission transposée.....	31
V.9.1.	L'affaiblissement.....	32
V.9.2.	Le déphasage.....	32
V.9.3.	La bande passante.....	32
V.9.4.	Le bruit.....	33
V.10.	Notion de signal sur bruit.....	33
	Documents de référence.....	35

### Introduction

Avec l'avènement d'Internet, les besoins en bande passante sont devenus de plus en plus importants afin de véhiculer la masse grandissante d'information sur les différents réseaux, avec fiabilité et en préservant une bonne qualité de service. En effet, ceci a nécessité le développement de systèmes de communication assez performants et fiables pour interconnecter un nombre constamment en croissance d'utilisateurs à travers le globe.

A l'heure actuelle, la technologie la plus efficace et la plus répandue repose sur les systèmes de transmission par fibres optiques.

Le point de départ des télécommunications des systèmes de transmission numérique par fibres optiques est sans aucun doute l'invention et le développement dans les années 60 des *LASER* [1].

La découverte et la compréhension du monde dans lequel nous vivons s'est toujours faite à travers l'observation et la métrologie de notre environnement. La notion du temps, de par sa nature abstraite, a amené l'homme à chercher un référentiel sur lequel se baser.

Historiquement, l'observation des astres comme le Soleil, en leur qualité d'horloge, a permis de mesurer le temps avec précision. Au fur et à mesure, avec les progrès techniques et scientifiques, la précision et la stabilité des horloges ont progressé très rapidement, passant de l'horloge astronomique à l'horloge mécanique, puis à l'horloge atomique[2].

Actuellement, la mesure du temps est si précise que l'on définit les autres grandeurs physiques à partir de ce dernier. Par exemple, la mesure d'une longueur s'effectue par la mesure du temps écoulé lors de la propagation de la lumière sur cette distance. Cependant, les différentes références de fréquence existantes ne possèdent pas la même stabilité à court et long terme. En effet, selon les applications, la stabilité requise n'est pas la même.

De nombreux travaux de recherche ont été réalisés pour améliorer ces références de fréquence. Le développement des oscillateurs électroniques comme ceux basés sur des résonateurs à quartz a permis l'obtention de signaux ultra stables basses fréquences jusqu'au GHz[2].

D'autres sources ont pris le relais à plus haute fréquence (gamme micro-ondes), comme les oscillateurs à résonateurs diélectriques (DRO). Un résonateur diélectrique réalisé dans un monocristal de saphir a même été utilisé pour atteindre une très haute pureté spectrale.

## Introduction

---

Toutefois, l'essor de nouvelles applications à plus haute fréquence, notamment dans le domaine des télécommunications, requiert de nouvelles références de fréquence. En effet, la multiplication de fréquence à partir de sources stables basses fréquence ainsi que la dégradation du facteur de qualité des résonateurs diélectriques lors de la montée en fréquence discréditent l'utilisation de ces technologies pour l'obtention de sources ultra stables à 30 GHz et au-delà[1, 2].

### Schéma synoptique d'un système de transmission numérique

#### Les fonctions de base d'un système de transmission numérique

Le schéma synoptique d'un système de transmission numérique est présenté à la figure 1 où l'on explique les fonctions de base :

- La source : elle fait émettre une information numérique sous la forme d'un train de bits binaires.
- Le codeur : habituellement joue le rôle de suppression d'un certain nombre de bits binaires non significatifs (compression de données ou *codage de source*), ou au contraire introduire de la redondance dans l'information en vue de la protéger contre le bruit et les perturbations présentes sur le canal de transmission (*codage de canal*). Le codage de canal n'est possible que si le débit de source est inférieure à la capacité du canal de transmission (la probabilité d'erreur  $P_e$  tend dans ce cas vers 0 d'après les travaux de Hartley - Shannon)[3, 4].
- La modulation : généralement a pour rôle d'adapter le spectre du signal au canal de transmission numérique (câble bifilaire, fibre optique, guide d'onde et canal hertzien) sur lequel il sera émis.
- La démodulation : du côté récepteur, la fonction de démodulation est l'opération inverse de celle de la modulation.
- Le décodage : est la fonction inverse de la fonction du codage du coté émetteur dans ce schéma synoptique.
- Le canal de transmission : est le support physique (câble bifilaire, fibre optique, guide d'onde et canal hertzien) qui fait amener le message (les informations numériques) de la source (émetteur) vers le destinataire (récepteur) [4].

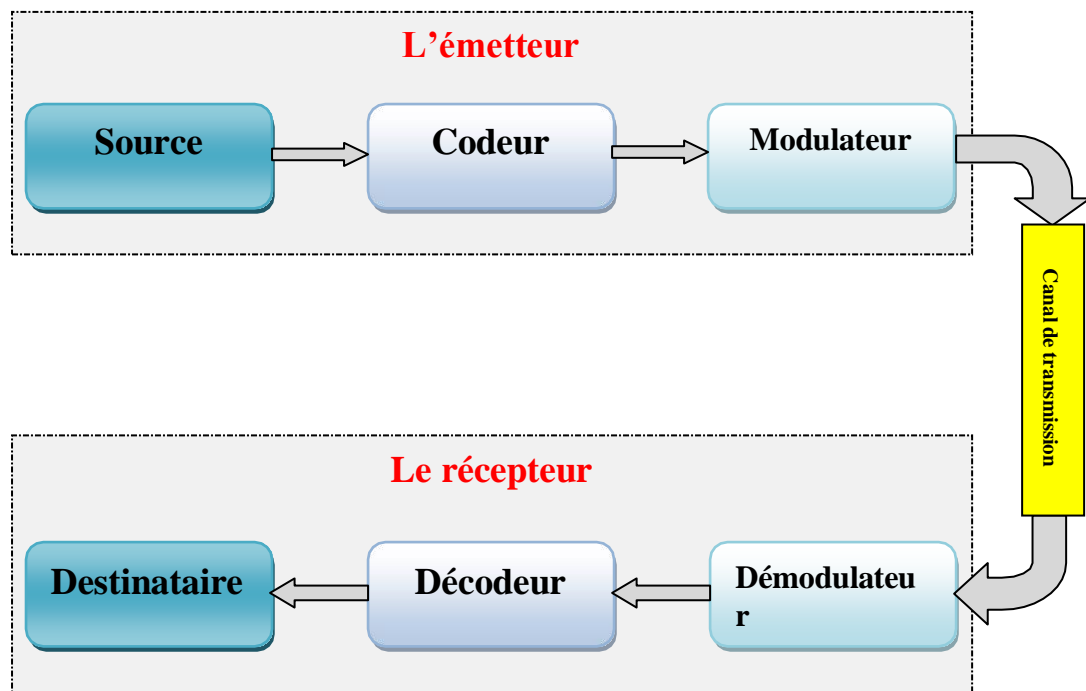


Figure 1 : Schéma d'un système de transmission numérique

### Les caractéristiques principales des techniques de transmission [4]

Les trois caractéristiques principales qui permettent de comparer les différentes techniques de transmission sont les suivantes:

- *La probabilité d'erreur  $P_e$*  par bit transmis permet d'évaluer la qualité d'un système de transmission. Elle est fonction de la technique de transmission utilisée, mais aussi du canal sur lequel le signal est transmis. Il est à noter que  $P_e$  est une valeur théorique dont une estimation non biaisée au sens statistique est le Taux d'Erreur par Bit TEB.
- *L'occupation spectrale* du signal émis doit être connue pour utiliser efficacement la bande passante du canal de transmission. On est contraint d'utiliser de plus en plus des modulations à grande efficacité spectrale.
- *La complexité du récepteur* dont la fonction est de restituer le signal émis est le troisième aspect important d'un système de transmission.

### Question :

*Quels sont les rôles et buts de chaque composant du côté module émetteur et du côté module récepteur.*

### Réponse :

*Les rôles et les buts des composants des modules émetteur et récepteur sont illustrés sur le tableau suivant :*

## Chapitre I. Schéma synoptique d'un système de transmission numérique

<i>Composant</i>	<i>rôle</i>	<i>but</i>
<i>Source</i>	<i>Envoyer des données et informations</i>	<i>Envoyer des messages</i>
<i>Codeur</i>	<i>Supprimer les bits non significatifs</i>	<i>Symboliser les données numériques</i>
<i>Modulateur</i>	<i>Ajouter une porteuse HF au message</i>	<i>Envelopper le message à transmettre</i>
<i>Démodulateur</i>	<i>Supprimer la porteuse HF du message</i>	<i>Désenvelopper le message transmis</i>
<i>Décodeur</i>	<i>Activer les durée des bits supprimés</i>	<i>Dé symboliser les données transmis</i>
<i>Destinataire</i>	<i>Réception des données et informations</i>	<i>Réception des messages</i>

### Numérisation du signal analogique

#### Introduction

Un signal analogique est un signal qui varie de façon continue au cours du temps.

Un ordinateur ne peut traiter que des signaux numériques, donc, il faut convertir le signal analogique au signal numérique à l'aide de ce qu'on appelle CAN « Convertisseur analogique numérique », cette opération de conversion se fait en plusieurs étapes.

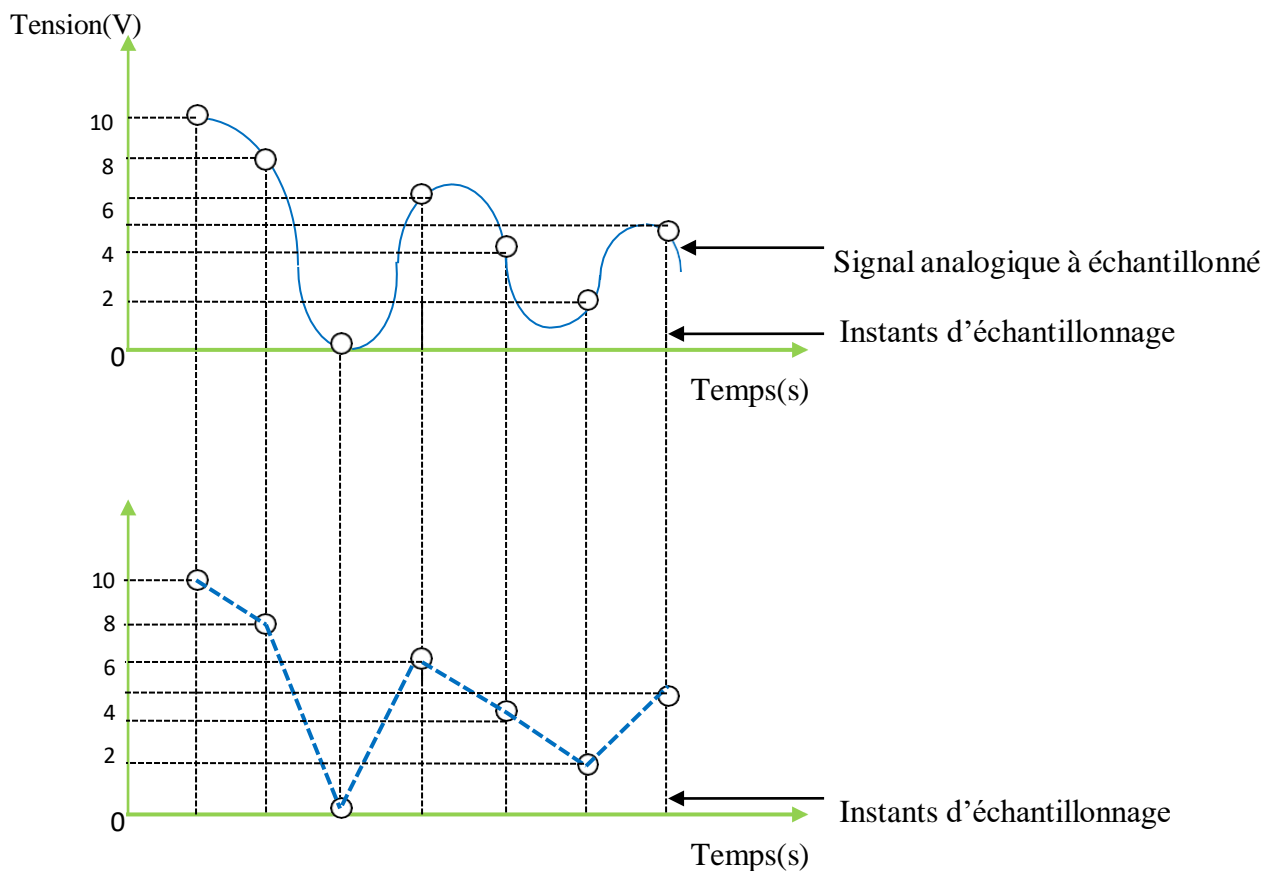
#### L'échantillonnage du signal analogique

Cette étape consiste à découper le signal analogique en petites tranches temporelles, mesure le signal à intervalles de temps  $T_e$  égaux [4].

$$T_e = \frac{1}{f_e}, \quad T_e : \text{est la période d'échantillonnage [s].}$$

$f_e$  : est la fréquence d'échantillonnage [Hz].

Soit la figure 2 ci-dessous, représente l'étape d'échantillonnage, comporte sept mesures de tension pour sept intervalles de temps égaux.



**Figure 2 : A représente le signal analogique à échantillonné, B représente les échantillons du signal analogique.**

### Remarque :

On remarque bien que le signal échantillonné est analogue au signal analogique à échantillonner [4, 5].

### Résumé :

Afin de numériser un signal analogique, il faut dans un premier temps : [4] échantillonner, c'est-à-dire en fonction de la fréquence d'échantillonnage, trouver les valeurs des tensions du signal à un intervalle de temps régulier correspondant à la période  $T_e = 1/f_e$ , les points représentent les tensions analogiques relevées toute les  $T_e$ , ce signal est un zoom d'une partie d'un signal compris entre deux valeurs  $U_{MIN}$  et  $U_{MAX}$ , tel que  $\Delta U = U_{MAX} - U_{MIN}$ .

### La quantification du signal [4, 5]

Cette étape de numérisation consiste à découper l'amplitude du signal analogique en valeurs discrètes, la plage maximum des mesures de CAN est alors découpée en tranches, voir figure 3.

On va considérer par exemple la plage d'étude du CAN correspondant à l'amplitude de 10v, et pour que ca soit plus simple à comprendre visuellement, on va prendre une quantification deux bits), on va voir qu'avec deux bits, on peut avoir quatre états ( $2^2$ ), la plage de mesure peut donc être découpée en quatre tranches.

### Remarque

La plage de mesures  $\Delta U = U_{MAX} - U_{MIN}$ .

Alors le pas de quantification, le pas =  $2^n$ , tel que  $n$  est le nombre de bits de Quantification ( $n=2$ ) [4, 5]

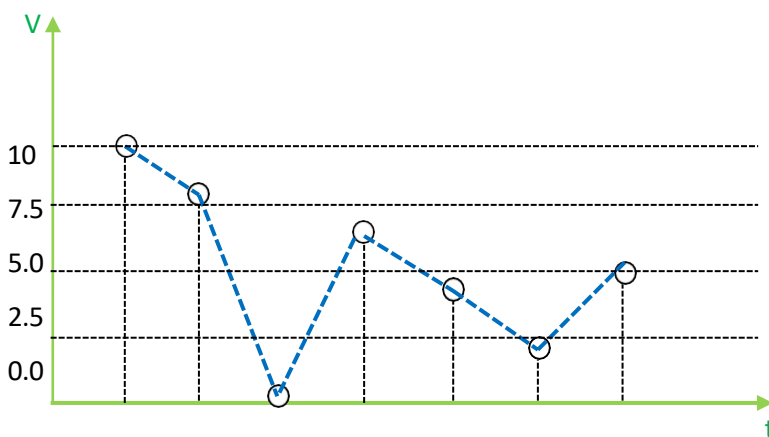


Figure 3. Quantification du signal.

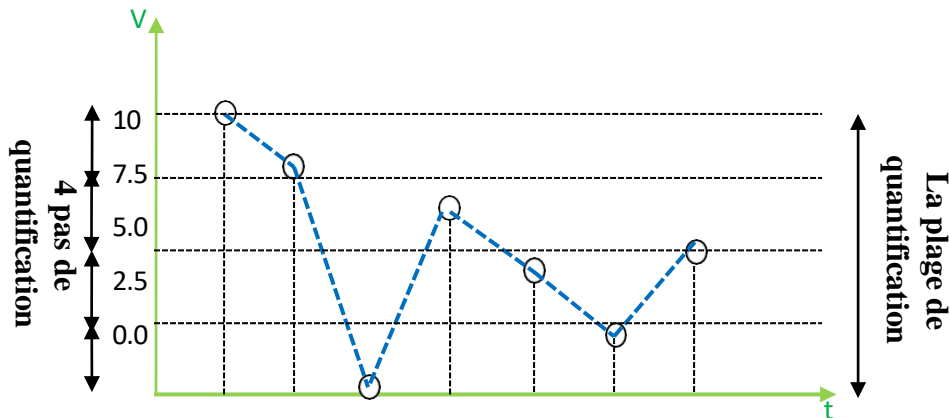


Figure 4 : Le pas et la plage de quantification.

### Résumé

*Le pas ou la résolution du CAN, est la plus petite variation de tension que le CAN peut repérer.*

### **Théorème d'échantillonnage (Shannon 1949) [4, 5]**

Un signal  $x(t)$  à bande limitée dans l'intervalle de fréquence  $[-f_{\max}, +f_{\max}]$  peut être reconstruit (interpolé) exactement à partir de ses échantillons

$$\text{si } f_e \geq 2 f_{\max}$$

La fréquence limite  $f_e/2$  est appelée fréquence de Nyquist.

Le théorème de Shannon-Nyquist se transpose alors en **demandant à l'image d'avoir un spectre qui ne se replie pas sur lui même**. Le spectre des images, comme les images elles-mêmes sont définies sur un plan. La fréquence de Shannon devient alors un "domaine de Shannon" c'est à dire un domaine du plan spectral acceptable.

### **Le codage [4, 5]**

Maintenant que la plage d'étude a été découpée en tranches, à chacune de ces tranches, on va associer un nombre binaire correspondant.

Par exemple si le nombre de bits est 2, donc on aura quatre états (00, 01, 10, 11) de telle sorte que on associera 00 pour la première tranche, 01 pour la deuxième tranche, 10 pour la troisième tranche et 11 pour la quatrième tranche.

Dans le cas de trois bits de quantification, on aura  $2^3 = 8$  états (000, 001, 010, 011, 100, 101, 110 et 111) ou on va associer chaque état (nombre binaire) à une tranche par ordre de bas en haut.

### Exercice 1

La figure a représentée ci-dessous est l'illustration de la conversion analogique/numérique à l'aide d'un convertisseur CAN 4 bits.

Par souci de simplification, les états 3 et 4 n'ont été schématisés que pour la date  $t_1$

1. Identifier la nature numérique ou analogique des signaux correspondant aux états 1 et 2.
2. Justifier.

- 2 .a. Comment nomme-t-on le passage de l'état 1 à l'état 2 ? b. Que représente la durée séparant deux points consécutifs du signal de l'état 2 ?

3. a. En quoi consistent les passages des états 2 à 3, puis des états 3 à 4 ? Comment les nomme-t-on ? b. Quel langage est utilisé pour coder cette information numérique ?

4. Résumer en quelques mots les différentes étapes de la numérisation d'un signal analogique.

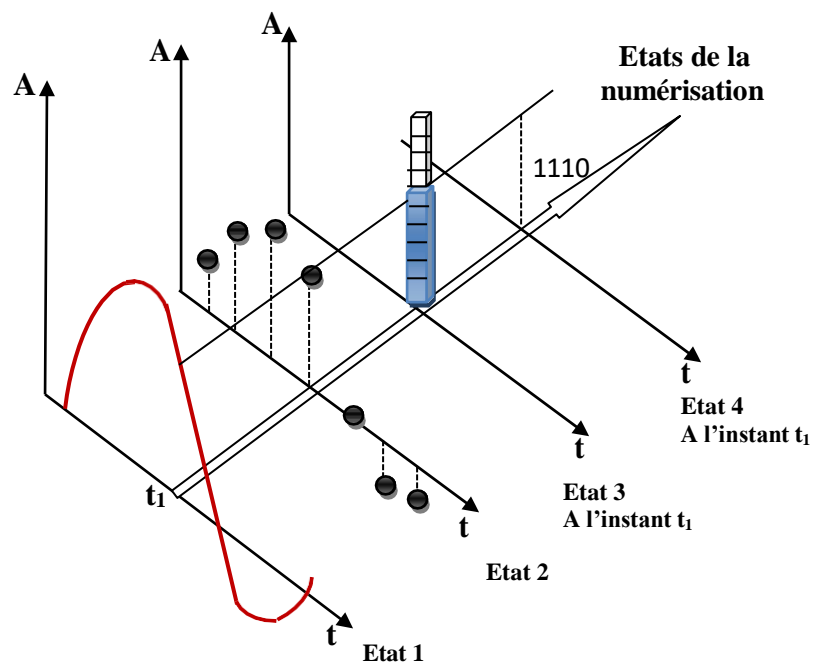


Figure A

### Correction de l'exercice 1

#### 1. Nature numérique ou analogique des signaux correspondant aux états 1 et 2.

Le signal de l'état 1 varie de façon **continue** au cours du temps. Ce signal est donc analogique.

Le signal de l'état 2 varie de façon **discrète** au cours du temps. Ce signal est donc numérique.

#### 2. a. Comment nomme-t-on le passage de l'état 1 à l'état 2 ?

Le convertisseur analogique numérique prélève des valeurs de la tension à intervalles de temps égaux.

Durée d'échantillonnage :  $T_e$ . Cette étape se nomme **l'échantillonnage**.

#### b. Que représente la durée séparant deux points consécutifs du signal de l'état 2 ?

## Chapitre II. Numérisation du signal analogique

La durée séparant deux points consécutifs de l'état 2 est constante. C'est la **période d'échantillonnage**.

Fréquence d'échantillonnage :  $f_e$ .

### **3.a. En quoi consistent les passages des états 2 à 3, puis des états 3 à 4 ? Comment les nomme-t-on ?**

\* Le passage des états 2 à 3 permet d'affecter la valeur la plus proche de l'échantillon parmi un ensemble discret de  $2^4 = 16$  valeurs pour cet exemple. Ce passage est appelé la **quantification**.

**Cours :** L'échantillonnage est l'opération de comparaison entre la valeur analogique et la valeur numérique la plus proche.

\* Lors du passage des états 3 à 4, la valeur numérique est remplacée par un nombre binaire de 4 bits sur cet exemple.

Cette étape se nomme le **codage ou numérisation**.

### **b. Quel langage est utilisé pour coder cette information numérique ?**

Le codage comporte une suite de 0 et de 1. Cette information est codée en **langage binaire**.

### **4. Résumer en quelques mots les différentes étapes de la numérisation d'un signal analogique .**

Pour numériser un signal analogique, il faut l'échantillonner, puis le quantifier, c'est-à-dire affecter à chaque échantillon une valeur qui est ensuite codée par un nombre binaire.

### **Exercice 2 Application immédiate à l'exercice précédent**

1. Comment serait modifié le schéma si la fréquence d'échantillonnage était doublée ?
2. Quelles seraient les conséquences sur le passage des états 2 à 3 si le codage s'effectuait sur 3 bits ?

### **Correction 2**

#### **1. Comment serait modifié le schéma si la fréquence d'échantillonnage était doublée ?**

Si on double la fréquence d'échantillonnage, il y a deux fois plus de mesures pendant la même durée.

On verrait une différence dans l'état 2 avec deux fois plus d'échantillons.

#### **2. Quelles seraient les conséquences sur le passage des états 2 à 3 si le codage s'effectuait sur 3 bits ?**

## Chapitre II. Numérisation du signal analogique

---

Avec un codage sur 3 bits, on affecterait une valeur numérique à chaque échantillon parmi un ensemble discret de 8 ( $2^3$ ) valeurs au lieu de 16 ( $2^4$ ) lors de la conversion actuelle.

### Transmission asynchrone, transmission synchrone

#### III.1 Introduction

Le transport de l'information de l'émetteur au destinataire nécessite que soit établie une série de conventions concernant la représentation logique des données, les paramètres physiques de la transmission (niveau électrique, rythme de l'émission...).

#### Débit d'un signal [5, 6]

##### Définition

Le débit binaire est une mesure de la quantité de données numériques transmises par unité de temps. Selon ses définitions normatives, il s'exprime en bits par seconde (bit/s, b/s ou bps) ou un de ses multiples en employant les préfixes du Système international (SI) : kb/s (kilobits par seconde), Mb/s (mégabits par seconde) et ainsi de suite.

Dans le domaine de l'informatique, le débit est parfois exprimé en octets par seconde. Un octet équivaut à 8 bits, nombre de bits correspondant aux premières et aux plus simples des machines, et permettant de transmettre un caractère alphanumérique. On trouve aussi bien des notations ko/s (kilo-octet par seconde) ou Mo/s que Bps (byte per second). Les notices anglophones abrègent byte en B majuscule pour le différencier du *b* de bit. Le byte est, en informatique, la plus petite unité adressable d'un ordinateur, mais dans le domaine des télécommunications, le byte est toujours un octet [7].

#### La valence [4, 6, 7]

##### Définition

La **valence** est le nombre d'états possibles d'un signal transmis.

En pratique, la valence est souvent choisie de sorte que ce soit une puissance de 2 (2, 4, 8, 16, etc). Pour une valence de  $2^n$ ,  $n$  est le nombre de bits nécessaire pour écrire ces états en binaire. Par exemple, pour une valence de 4, il y a 4 états possibles codés sur 2 bits ( $2 = \log_2(4)$ ), ce qui donne en binaire : 00, 01, 10 et 11.

Lorsqu'un signal a une valence  $2^n$ , une rapidité de modulation d'un baud équivaut à un débit binaire de  $n$  bit/s.

**$D = \log_2(V) * R$**  (où  $D$  débit en bit/s,  $V$  valence en symbole/baud,  $R$  rapidité de modulation en baud).

##### Remarque :

Le débit maximal de la voie est égal au produit de la bande passante par le logarithme en base deux du nombre de niveaux qu'on peut distinguer dans la voie avec une probabilité

d'erreur raisonnable, on peut écrire  $C = 2w \log_2(1 + (S/B))^{1/2}$  ou  $C$  est la capacité de la voie,  $w$  est la largeur de bande  $S$  est la puissance efficace du signal à transmettre et  $B$  la puissance efficace du bruit du canal dans lequel se transmet le signal).

### Le Taux d'Erreur par Bit TEB[4, 5, 7]

#### Définition

Le taux d'erreur binaire est une **mesure de performance sans unité**, souvent exprimée en pourcentage. La probabilité d'erreur sur les bits  $p_e$  est la valeur attendue du taux d'erreur sur les bits. Le taux d'erreur sur les bits peut être considéré comme une estimation approximative de la probabilité d'erreur sur les bits.

En transmission numérique, le nombre d'erreurs de bits est le nombre de reçus des bits d'un flux de données sur un canal de communication qui ont été altérés en raison de bruit, interférences, distorsion ou la synchronisation des bits d'erreurs[6].

**Généralités :** Le taux d'erreur binaire (BER)[6] est le nombre d'erreurs binaires par unité de temps. Le taux d'erreur de bit (également BER) est le nombre d'erreurs de bit divisée par le nombre total de bits transmis pendant un intervalle de temps étudié. Taux d'erreur binaire est une mesure de performance sans unité, souvent exprimé en pourcentage.

La probabilité d'erreur de bit  $p_e$  est la valeur moyenne du taux d'erreur de bit. Le taux d'erreur de bits peut être considéré comme une estimation approximative de la probabilité d'erreur de bit. Cette estimation est exacte pour un long intervalle de temps et un nombre élevé d'erreurs de bit.

Selon la classification en fonction des paramètres physiques, on va aborder : [6, 7]

Au niveau de l'émetteur, les bits sont émis à une cadence précise, cette cadence est définie par une horloge (horloge émission). Du côté récepteur, le décodage de la série des bits reçues doit être correcte, il faut que le récepteur examine 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.

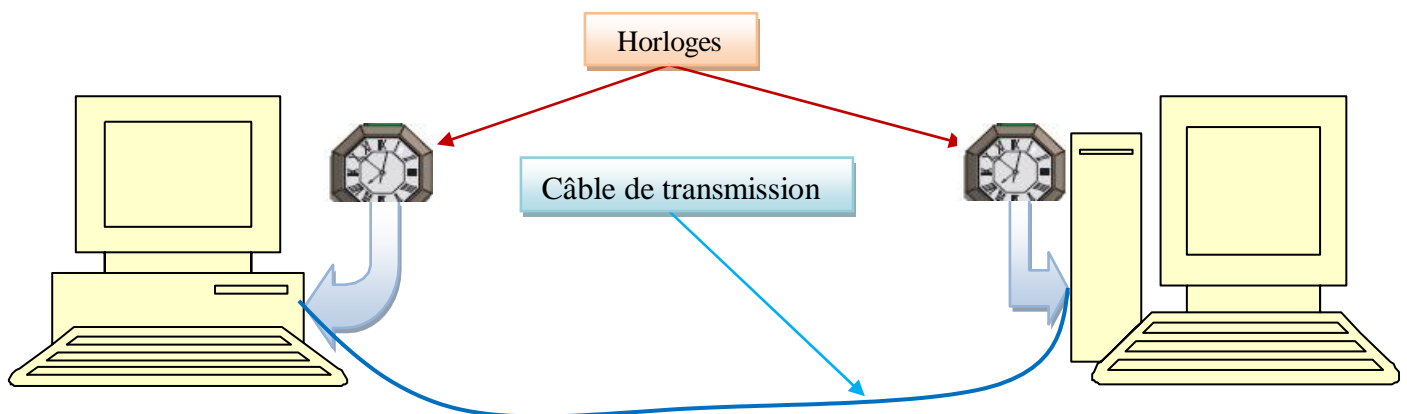


Figure 5. Chaîne de transmission numérique

Le battement des deux horloges au même rythme n'est pas suffisant, Il est indispensable que les deux horloges soient en phase, c'est-à-dire, il faut que les instants correspondant aux niveaux électriques soient les mêmes pour les deux (émetteur et récepteur), la procédure exécutée pour exiger l'asservissement de l'horloge du récepteur à celle de l'émetteur s'appelle la synchronisation (figure 5).

On distingue deux types de transmission : les transmissions asynchrones et les transmissions synchrones, suivant le mode de synchronisation de l'horloge du récepteur sur celle de l'émetteur.

Quand les horloges sont indépendantes, on dit que les transmissions sont asynchrones, alors dans le cas contraire, on dit que les transmissions sont synchrones, ou on maintient en permanence une relation de phase stricte entre les horloges émission et réception.

Lorsqu'un réseau de transport relie des systèmes communication, c'est ce réseau qui fournit les horloges de référence (figure 6).

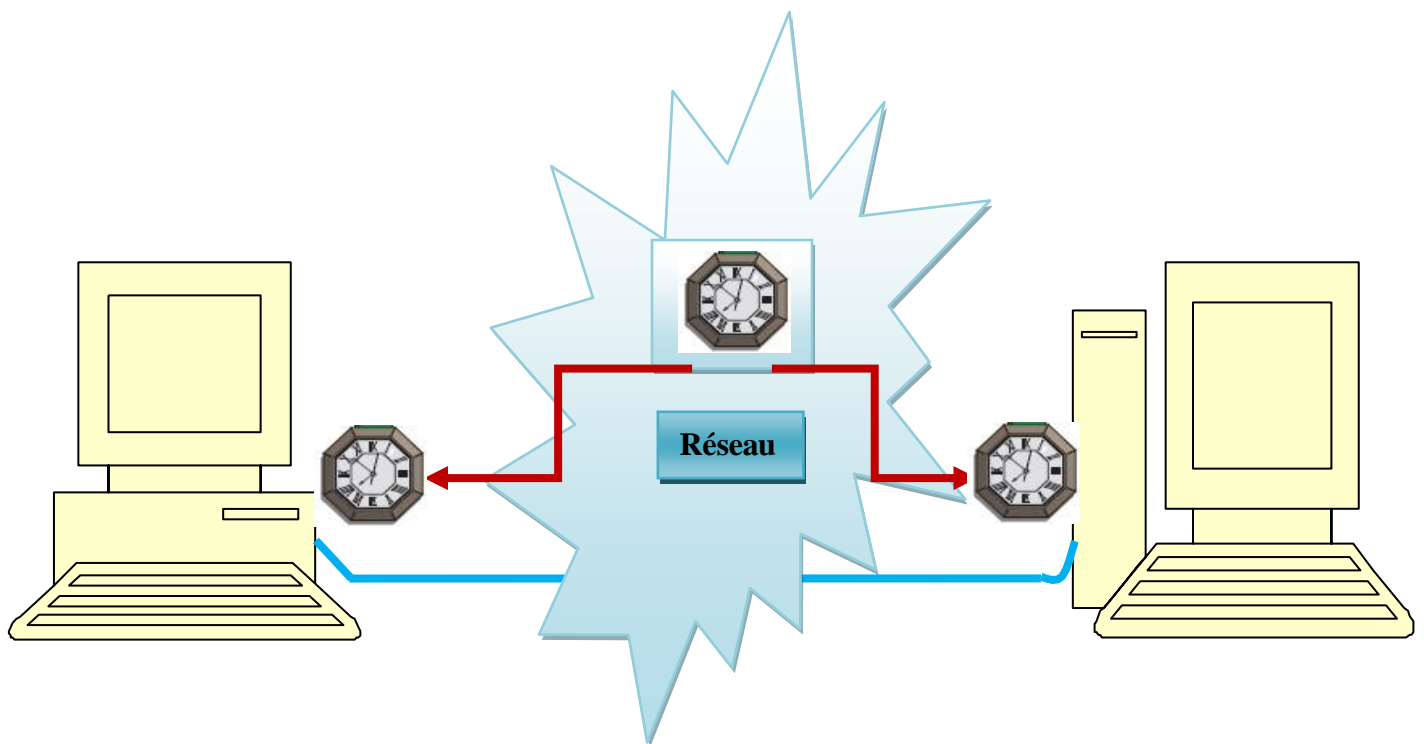


Figure 6. Horloge d'un réseau de transport.

### Notion d'horloge

Actuellement, les pertes de synchronisation, à cause des dérives d'horloge, sont les principales causes des pertes de données et des erreurs de transmission dans les réseaux des télécommunications.

L'une des préoccupations principales des concepteurs de systèmes de transmission est la synchronisation des différentes horloges mises en œuvre dans les systèmes de transmission est le dérive des bits.

L'horloge locale de l'émetteur que nous supposons stable, fait émettre le train des bits à son rythme [8]. On suppose que le récepteur a une horloge qui fonctionne au même rythme ou fréquence (nombre d'instants significatifs par seconde identique). La cadence (la fréquence) varie, on dit que l'horloge dérive. En admettant que lors de la réception du premier bit, l'horloge du récepteur soit parfaitement calée sur l'horloge d'émission (synchronisée), la dérive de l'horloge local du récepteur fait que quelques bits plus tard, l'instant significatif de réception est sur le bit précédent ou suivant selon la vitesse de la dérive. En admettant (hypothèse simplificatrice), que l'instant d'interprétation du signal reçu corresponde au front descendant de l'horloge de réception, la dérive illustrée figure 7 (dérive positive) montre que, du fait de cette dernière, le cinquième bit est omis. Une erreur de transmission est apparue [9].

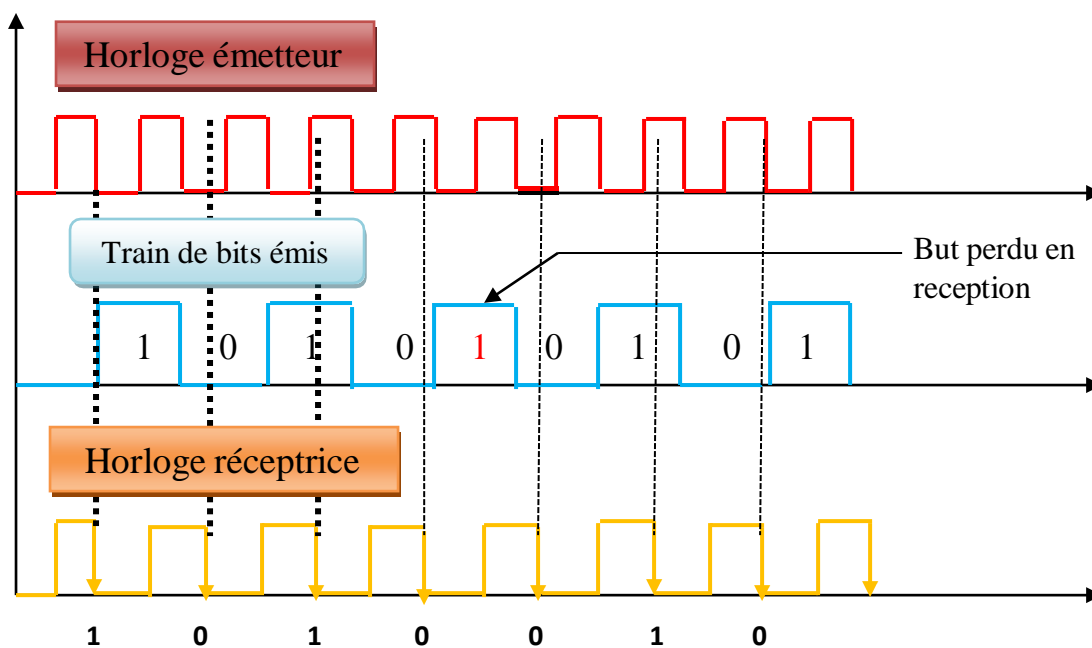


Figure 7. La dérive de l'horloge réception occasionne la perte d'un bit.

### La transmission du signal de synchronisation

Le signal de synchronisation peut être déduit du train binaire ou transmis sur un lien spécifique. Cette dernière méthode plus complexe et plus onéreuse est utilisée par les opérateurs de télécommunication pour transmettre la synchronisation aux différents éléments du réseau. En général, les équipements terminaux utilisent la première méthode, le signal d'horloge est extrait du train binaire transmis [9].

### La transmission asynchrone

Dans les transmissions asynchrones, les horloges émetteur et récepteur sont indépendantes (voir Figure 8).

Pour assurer la synchronisation des horloges on envoie, avant toute suite binaire significative, un signal spécifique d'asservissement. Après cette opération, l'horloge de réception est libre, elle dérive (voir Figure 8). L'intervalle de temps, pendant lequel la dérive est tolérable et autorise un décodage correct de la séquence binaire, est faible. Cet intervalle de temps n'autorise que la transmission d'une courte séquence binaire : le caractère[9].

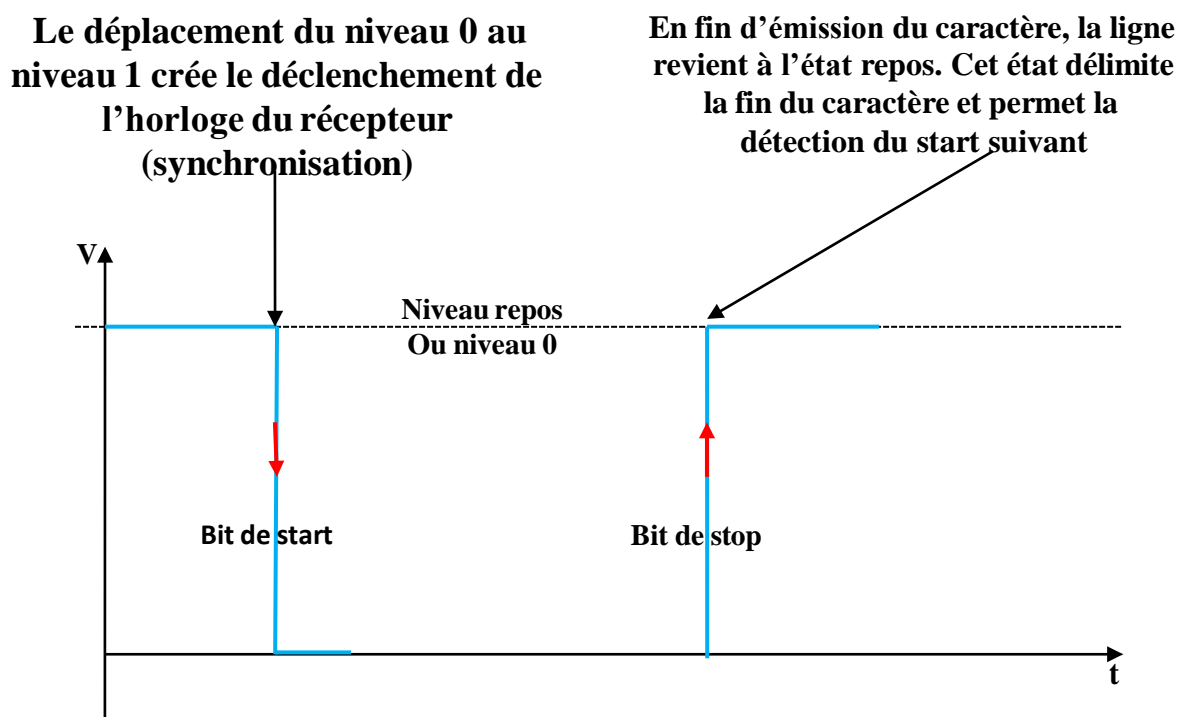
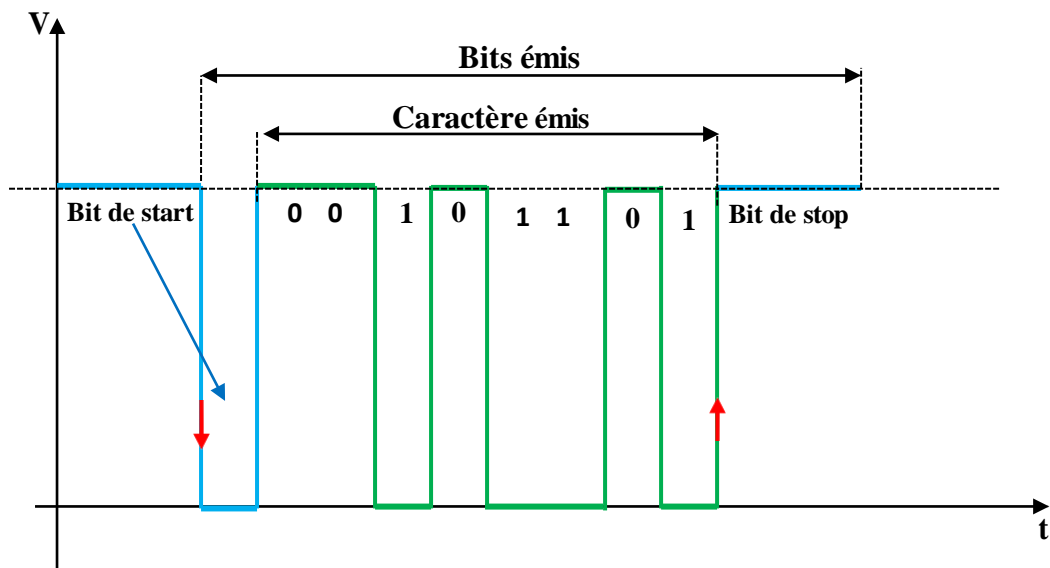


Figure 8. Principe de la synchronisation en transmission asynchrone.

En transmission asynchrone, 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 (figure 9).

Le niveau de repos de la ligne ou niveau zéro est fixé à un certain potentiel (V) et non pas au zéro électrique pour ne pas confondre un zéro binaire avec une rupture de la ligne. Cette tension de repos signale aux systèmes que les terminaux sont actifs.



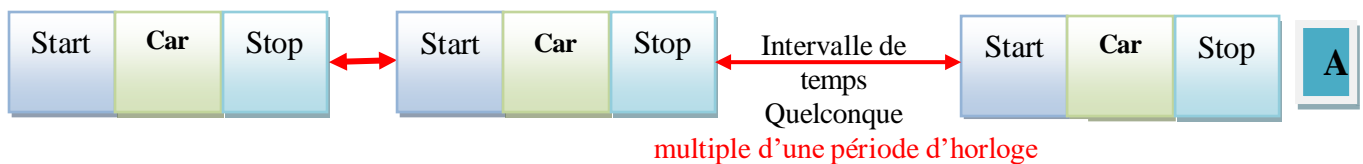
**Figure 9. Caractère asynchrone**

Le bit de start et celui ou ceux de stop servent de délimiteur de caractères (figure 9).

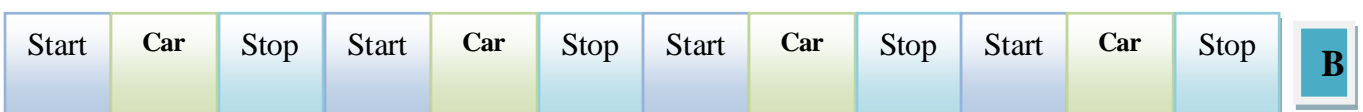
Les transmissions asynchrones s'effectuent selon un ensemble de règles régissant les échanges (protocole). On distingue deux types de protocoles asynchrones (figure 10) [10]:

- Le mode caractères : la transmission a lieu caractère par caractère. L'intervalle de temps qui sépare chaque caractère peut être quelconque (multiple de la fréquence d'horloge).
- Le mode blocs : les caractères sont rassemblés en blocs. L'intervalle de temps entre l'émission de 2 blocs successifs peut être quelconque (multiple de la fréquence d'horloge).

### *Asynchrone en mode caractère*



### *Asynchrone en mode blocs*



**Figure 10. Les modes d'asynchronisation : A mode caractère, B mode bloc.**

### La transmission synchrone

La liaison synchrone, dans laquelle émetteur et récepteur sont cadencés sur la même horloge. Le récepteur reçoit de façon continue (même lorsque aucun bit n'est transmis) les informations au rythme où l'émetteur les envoie. C'est pourquoi il est nécessaire qu'émetteur et récepteur soient cadencés à la même vitesse. De plus, des informations supplémentaires sont insérées afin de garantir l'absence d'erreurs lors de la transmission (voir figure 11) [10].

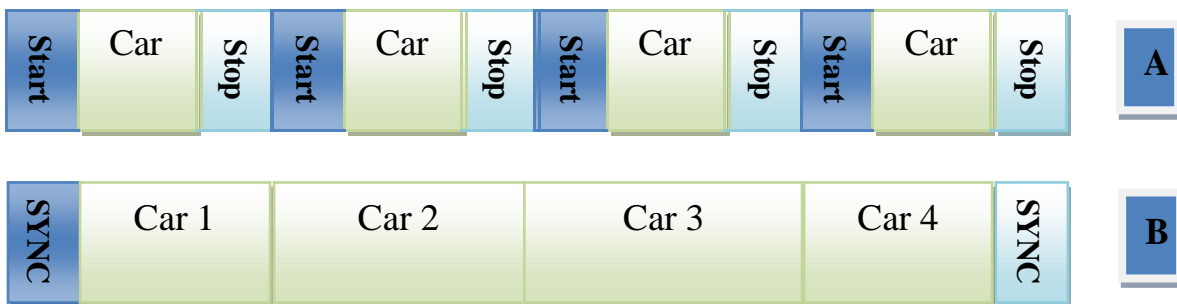


Figure 11. Transmission : A. Asynchrone, B. synchrone

### Rappels :

L'une des différences majeures est que dans la transmission synchrone, l'émetteur et le récepteur doivent avoir des horloges synchronisées avant la transmission des données. Alors que la transmission asynchrone ne nécessite pas d'horloge mais ajoute un bit de parité aux données avant la transmission [9, 10].

Un circuit synchrone est un circuit électronique numérique qui fonctionne à un rythme dicté par une horloge. Cette horloge interne au processeur donne à intervalles réguliers une impulsion électrique simultanée (en première approximation) à tous les composants du processeur. Sa fréquence peut atteindre quelques gigahertz (GHz) pour des processeurs récents[9, 10].

Un circuit numérique, comme un processeur, est composé de multiples composants comme les mémoires, additionneurs, multiplexeurs, soustracteurs, diviseurs, multiplicateurs). Ces composants fonctionnent de manière binaire suivant le niveau de tension qu'ils reçoivent en entrée et rendent un niveau de tension haut ou bas en sortie (en binaire, 0 ou 1) [9, 10].

L'impulsion électrique sur le composant l'autorise à utiliser les données reçues en entrée, ce qui peut le faire passer d'un état à un autre (tension de sortie haute ou basse) en passant par un état transitoire. Cet état transitoire est donc le temps durant lequel s'établit

la tension de sortie du composant. Durant ce temps d'établissement, aucune information n'est valable à la sortie du composant. C'est pourquoi il est nécessaire de faire fonctionner le processus par étape successive pour ne prendre en compte que des tensions stables à la sortie des composants[10].

Certaines instructions et certaines données sont plus rapides que d'autres à traiter, mais le processeur doit attendre l'impulsion de l'horloge pour passer à la suite du traitement de données et des instructions. Cela permet d'éviter que certains composants ne s'avancent dans les calculs, fournissant de ce fait des valeurs faussées à leurs voisins.

### Problèmes existants :

Il existe différents problèmes pour les circuits synchrones. Tout d'abord, le temps de propagation du signal d'horloge. En effet, le parcours du signal électrique (onde électrique) dans le circuit demande un certain temps. L'onde électrique se propage à la vitesse de la lumière, on peut donc calculer que pour un processeur fonctionnant à 3 GHz, l'onde parcourt 15 cm entre chaque coup d'horloge. À cela, il faut rajouter le temps d'établissement des signaux dans les composants. On peut donc arriver à des situations où les composants situés à côté de l'horloge sont dans un état ( $t$ ) et ceux situés de l'autre côté du processeur sont dans un état ( $t-1$ ). On arrive donc à une situation d'asynchronisation du processeur, c'est-à-dire que les composants ne sont pas tous synchrones et qu'ils se fournissent l'un l'autre des résultats faussés[10].

D'autres problèmes s'y ajoutent, comme le phénomène de gigue d'horloge, c'est-à-dire le fait que le signal d'horloge ne soit pas parfaitement régulier. Là encore, cela peut conduire à des erreurs ou à une perte de performance pour les éviter[10].

Ces inconvénients provoquent l'intérêt pour des solutions de remplacement comme les circuits asynchrones.

Un **signal d'horloge** est, en électronique, et particulièrement en électronique numérique, un signal électrique oscillant qui rythme les actions d'un circuit. Sa période est appelée *cycle d'horloge*.

À chaque cycle d'horloge, des calculs peuvent être effectués en utilisant les sorties de bascules. L'horloge permet d'assurer que les données sont valides au cycle d'horloge suivant, c'est-à-dire que les calculs sont terminés et les résultats stabilisés. La durée du cycle doit donc être choisie en fonction de la durée maximale possible de chacun des calculs (voir Figure 12) [10].

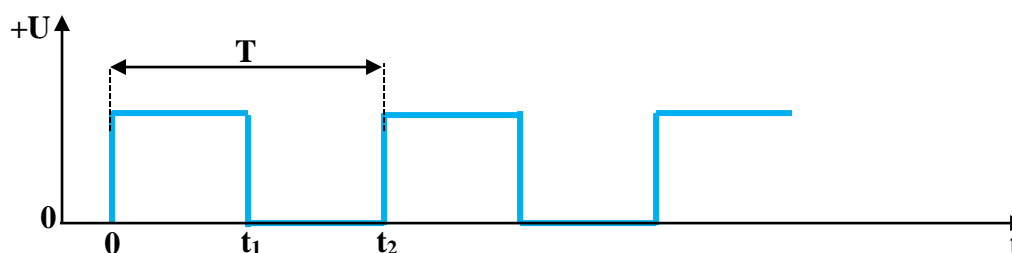


Figure 12. Signal d'horloge

### Série d'exercices :

#### Exercice 1

- 1) Une image TV numérisée doit être transmise à partir d'une source qui utilise une matrice d'affichage de 450x500 pixels, chacun des pixels pouvant prendre 32 valeurs d'intensité différentes. On suppose que 30 images sont envoyées par seconde. Quel est le débit  $D$  de la source ?
- 2) L'image TV est transmise sur une voie de largeur de bande 4,5 MHz et un rapport signal/bruit de 35 dB. Déterminer la capacité de la voie.

#### Solution de l'Exercice 1

1) Volume  $V = 33\,750\,000$  bits ; le débit  $D$  est  $D = 33,75$  Mbits/s.

2) Appliquons la relation  $C = 2W \log_2(1 + S/B)^{1/2}$ . Toutefois, il faut faire attention que dans cette relation  $S/B$  est exprimée en rapport de puissances et non en décibels. On écrira donc de préférence

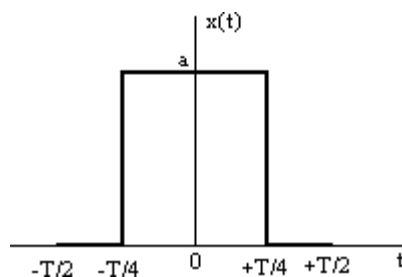
$$C = 2W \log_2(1 + P_S/P_B)^{1/2}$$

$$P_S/P_B = \exp[(\ln(10)/10) \cdot S/B] = 3162 \text{ d'où } C = (9/2) \cdot (\ln(3163)/\ln(2)) = 52 \text{ Mbits/s.}$$

A noter que avec  $S/B = 30$  dB, on aurait  $C = 44,8$  Mbits/s et que avec  $S/B = 20$  dB, on aurait  $C = 29,96$  Mbits/s.

#### Exercice 2

Un signal numérique de forme "créneau", de période  $T$ , est envoyé sur une voie de transmission.



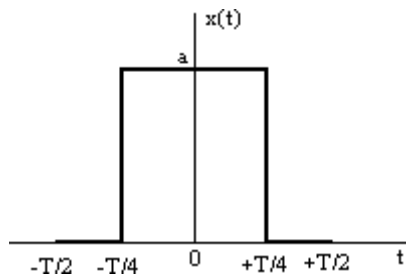
- 1) Décomposer le signal en série de Fourier
- 2) La voie ayant une bande passante allant de la fréquence  $4/T$  à  $8/T$ , quel est le signal reçu en bout de ligne (en négligeant le bruit, l'amortissement et le déphasage).

### Solution de l'Exercice 2

1) Le développement en série de Fourier est

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t) \quad \text{avec } \omega_0 = \frac{2\pi}{T}$$

et comme le signal est pair, on n'a pas de termes en sinus.



$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t)$$

Les coefficients sont

$$\frac{a_0}{2} = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} x(t) dt = \frac{a}{2} \quad a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} x(t) \cos n\omega_0 t dt = \frac{2a}{n\pi} \sin n \frac{\pi}{2}$$

Cette dernière relation peut encore s'écrire

$$a_{2k+1} = \frac{2a}{(2k+1)\pi} (-1)^k \quad a_{2k} = 0 \quad \text{d'où } x(t) = \frac{a}{2} + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{2a(-1)^k}{(2k+1)\pi} \cos(2k+1)\omega_0 t$$

2) Il ne reste que

$$x'(t) = \frac{2a}{5\pi} \cos 5\omega_0 t - \frac{2a}{7\pi} \cos 7\omega_0 t$$

On constatera qu'il ne reste que peu de choses à l'arrivée !

### Exercice 3

Quelle est la capacité d'une ligne pour téléimprimeur de largeur de bande 300 Hz et de rapport signal/bruit de 3 dB ?

### Solution de l'Exercice 3

En reprenant les considérations de l'exercice 3, on obtient  $C = 475,5$  bits/s.

### Exercice 4

Un système de transmission numérique fonctionne à un débit de 9600 bits/s.

1) Si un signal élémentaire permet le codage d'un mot de 4 bits, quelle est la largeur de

bande minimale nécessaire de la voie ?

2) Même question pour le codage d'un mot de 8 bits.

### Solution de l'Exercice 4

1) Puisqu'un signal transporte 4 bits, la rapidité de modulation est  $R = D/4 = 1200$  bauds.

La rapidité de modulation maximale est  $R_{\max} = kW$  avec  $k = 1,25$ . Donc  $R < 1,25 W$  et par suite

$W > R/1,25$  soit  $W_{\min} = 2400/1,25 = 1920$  Hz.

2) Dans ce cas un signal transporte 8 bits, donc  $W_{\min} = 1200/1,25 = 960$  Hz.

### Exercice 5

Une voie possède une capacité de 20 Mbits/s. La largeur de bande de la voie est de 3 MHz. Quel doit être le rapport signal/bruit ?

### Solution de l'Exercice 5

En reprenant les considérations de l'exercice 3, on a  $1 + P_S/P_B = \exp [C \cdot \ln(2)/W] = 101$ , d'où  $P_S/P_B = 100$ .

En décibels,  $S/B = 10 \log_{10}(P_S/P_B) = 20$  dB.

### Transcodage information-signal (étude des principaux codes)

#### Les systèmes de numération

##### Définition

Un système de numération se définit par deux éléments :

- La base du système  $b$ .
- Les symboles du système.

**Exemples** : Système décimal (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9).

Système binaire (0, 1).

Système octal (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7).

Système hexa décimal (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F).

##### Notation

Pour un nombre  $N$  constitué de  $a_i$  symboles dans une base  $b$ ,

se représente :  $N = (a_{n-1}, a_{n-2}, a_{n-3}, \dots, a_0)_b$

s'écrit :  $N = a_{n-1}.b^{n-1} + a_{n-2}.b^{n-2} + a_{n-3}.b^{n-3} + \dots + a_0.b^0$

##### Applications:

$(2021)_{10}$ ,  $(11010)_2$ ,  $(2701)_8$ ,  $(11AF)_{16}$ .

$N_1 = 10^3.2 + 10^2.0 + 10^1.2 + 10^0.1 = 2000 + 0 + 20 + 1 = 2021$  en décimal.

$N_2 = 2^4.1 + 2^3.1 + 2^2.0 + 2^1.1 + 2^0.0 = 16 + 8 + 0 + 2 + 0 = 26$  en décimal.

$N_3 = 8^3.2 + 8^2.7 + 8^1.0 + 8^0.1 = 1024 + 448 + 0 + 1 = 1473$  en décimal.

$N_4 = 16^3.1 + 16^2.1 + 16^1.A + 16^0.F = 4096 + 256 + 160 + 15 = 4528$  en décimal.

#### Le transcodage

Le transcodage est l'opération de conversion d'une base d'un système de numération vers une autre base.

Ce que nous avons vu aux applications précédentes, est le transcodage des systèmes de numération (binaire, octal, hexadécimal) vers le système décimal.

#### Le transcodage du décimal vers une autre base (binaire, hexadécimal)

L'opération se fait par la division successivement du nombre entier à transcoder par la base  $b(2)$ , les calculs s'arrêtent lorsque le quotient arrive à 0. Puis par la multiplication successivement du nombre décimal à transcoder par  $b(2)$ , les calculs s'arrêtent lorsque le quotient arrive à 1,00[11].

##### Exemple :

Conversion de 28,8625 en binaire,

La partie entier 28

$28/2=14$  0,  $14/2=7$  0,  $7/2=3$  1,  $3/2=1$  1,  $1/2=0$  1,

donc  $(28)_{10} \equiv (11100)_2$ .

## Chapitre IV. Transcodage information-signal (étude des principaux codes)

La partie décimal 0,8625

– Conversion de 0,8625 :

- $0,8625 \times 2 = 1,725 = 1 + 0,725$
- $0,725 \times 2 = 1,45 = 1 + 0,45$
- $0,45 \times 2 = 0,9 = 0 + 0,9$
- $0,9 \times 2 = 1,8 = 1 + 0,8$
- $0,8 \times 2 = 1,6 = 1 + 0,6$
- $0,6 \times 2 = 1,2 = 1 + 0,2$
- $0,2 \times 2 = 0,4 = 0 + 0,4$
- $0,4 \times 2 = 0,8 = 0 + 0,8 \dots$

28,8625 peut être représenté par  $(11100,11011100\dots)_2$

Et par la même méthode on peut transformer le nombre  $(29.975)_{10}$  en hexadécimal

La partie entier 29 :  $29/16=1$  D,  $1/16=0$  1,

Donc  $(29)_{10} \equiv (1D)_{16}$ .

La partie décimale 0,975

$$0,975 \times 16 = 15,6 = F + 0,6$$

$$0,6 \times 16 = 9,6 = 9 + 0,6,$$

Donc :  $(29,975)_{10}$  peut être représenté par  $(1D,F99\dots)_{16}$

### Le transcodage d'une base 2 vers une autre base (octal, hexadécimal)

#### Le transcodage du binaire vers l'octal

Dans ce cas, on divise la série des bits en groupes de trois bits, par exemple :

$$(1100010011110)_2 \equiv 1\ 100\ 010\ 011\ 110 \equiv (14\ 2\ 3\ 6)$$

#### Le transcodage du binaire vers l'hexadécimal

Dans ce cas, on divise la série des bits en groupes de quatre bits, par exemple :

$$(1100010011110)_2 \equiv 1\ 1000\ 1001\ 1110 \equiv (189E)_{16}$$

#### Le transcodage de l'hexadécimal vers le binaire

Dans ce cas, on va dissocier chaque symbole de l'hexadécimal en quatre bits, exemple :  $(5CFA)_{16} \equiv (101\ 1100\ 1111\ 1010)_2$

### Les principaux codes

#### Le codage des caractères alphanumériques

Les premiers codes ont été établis pour répondre au besoin de transmettre des messages rapidement[11].

On ne retiendra ici que les codes les plus utilisés actuellement : ASCII et Unicode.

#### Le code ASCII (American Standard Code for Information Interchange) [11]

## Chapitre IV. Transcodage information-signal (étude des principaux codes)

Le codage ASCII (normalisé en 1967) représente un jeu de 128 caractères au moyen de 7 signaux à 2 états.

La table de correspondance est représentée ci-dessous, sous forme rectangulaire pour être plus compacte.

Ce code comprend 26 majuscules, 26 minuscules, 10 chiffres, 32 symboles, 33 codes de contrôle et un espace. Ce codage n'est réellement adapté qu'à la langue anglaise qui est dépourvue de toute décoration (ou signes diacritiques : accent, cédille, tilde, etc..) sur les caractères.

Des codes de commande pour les anciens terminaux complètent cette liste : seuls quelques uns sont encore utilisés aujourd'hui (NUL, BS, HT, LF, VT, FF, CR, ESC, DEL).

	000	001	010	011	100	101	110	111
0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	'	p
0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1100	FF	FS	,	<	L	\	l	
1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1110	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1111	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

Figure 13. Code ASCII[11]

Ce code (Figure 13) est très limité, mais il suffit à de nombreuses activités techniques dans le domaine du traitement de l'information (systèmes d'exploitation, claviers, imprimantes, internet, etc..) [11, 12].

### L'unicode

Après des tentatives d'extension du code ASCII par les firmes informatiques, Unicode a été créé de manière concertée. Au départ, les caractères étaient codés sur 16 bits. Depuis, il a été étendu à 32 bits.

La première version a été développée en 1991. L'unicode est mis à jour régulièrement pour prendre en compte de nouveaux alphabets : 5.2 (2009), 6.0 (2012), 6.1 (2012), 6.3 (2013).

Dans la version 6.0 (janvier 2012), l'Unicode permettait de coder (voir Figure 14) :

– 137 468 caractères à usage privé.

## Chapitre IV. Transcodage information-signal (étude des principaux codes)

- 109 242 lettres ou syllabes, chiffres ou nombres, symboles divers, signes diacritiques (accent...) et signes de ponctuation.
- plusieurs centaines de caractères de contrôle ou modificateurs spéciaux.

Pour assurer la compatibilité, les codes des caractères du jeu ASCII sont les mêmes en ASCII qu'en Unicode, il suffit d'ajouter des zéros à gauche pour arriver à 16 bits.

ASCII/8859-1 Text		Unicode Text	
A	0100 0001	A	0000 0000 0100 0001
S	0101 0011	S	0000 0000 0101 0011
C	0100 0011	C	0000 0000 0100 0011
I	0100 1001	I	0000 0000 0100 1001
I	0100 1001	I	0000 0000 0100 1001
/	0010 1111		0000 0000 0010 0000
8	0011 1000	天	0101 1001 0010 1001
8	0011 1000	地	0101 0111 0011 0000
5	0011 0101		0000 0000 0010 0000
9	0011 1001	س	0000 0110 0011 0011
-	0010 1101	ل	0000 0110 0100 0100
l	0011 0001	ا	0000 0110 0010 0111
	0010 0000	م	0000 0110 0100 0101
t	0111 0100		0000 0000 0010 0000
e	0110 0101	a	0000 0011 1011 0001
x	0111 1000	£	0010 0010 0111 0000
t	0111 0100	γ	0000 0011 1011 0011

Figure 14. Développement du code ASCII en ASCII8859-1 puis en Unicode[11].

### Le codage RZ

Le codage RZ (voir figure 15) est le plus simple et le plus facile codage à utiliser et réaliser, en effet, pour établir ce codage, il suffit de réaliser une porte logique ET(AND) qui relie le signal de l'horloge et l'information à transmettre [12, 13],

$$e(i) = 0 \Rightarrow s(i) = 0$$

$$\left\{ \begin{array}{l} e(i) = 1 \Rightarrow s(i) = 1 \text{ pour } 0 \leq t \leq T/2 \\ s(i) = 0 \text{ pour } T/2 \leq t \leq T \end{array} \right.$$

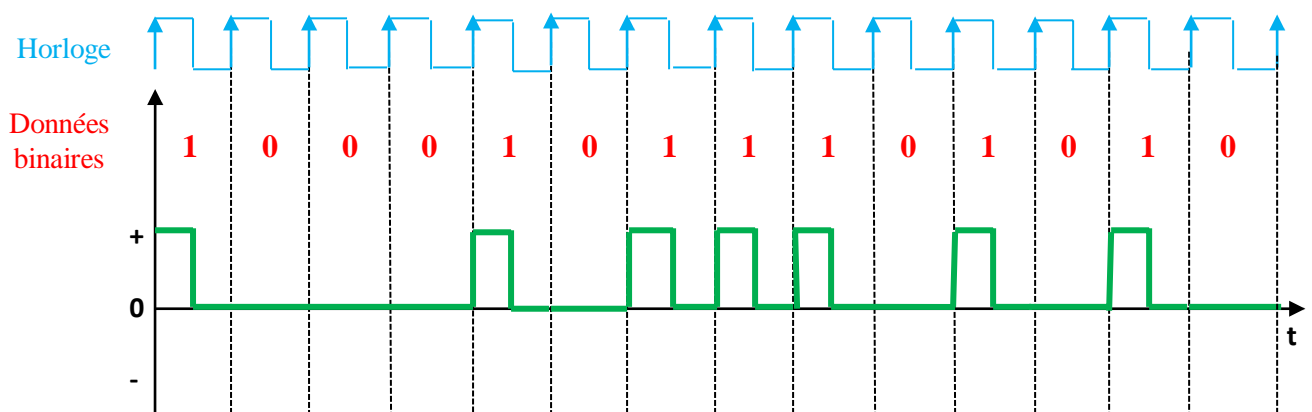
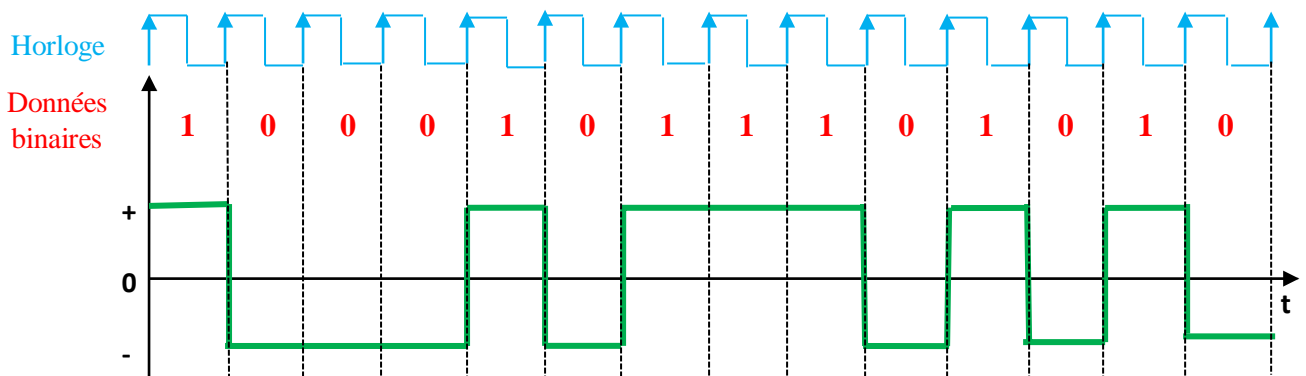


Figure 15. Principe du code RZ.

### Le codage NRZ [12]

Le codage NRZ est plus simple et plus efficace que le codage RZ, il consiste à transformer les niveaux 1 en  $+V$  et les niveaux 0 en  $-V$  ( $V$  étant une valeur de tension continue). Lorsque le front montant de l'horloge capte la présence d'un 1 en entrée, le signal de sortie prend la valeur  $+V$  jusqu'au front montant suivant. Si l'information suivante est un 0 alors le signal prendra la valeur  $-V$  et ainsi de suite (voir figure 16).

$$\begin{cases} e(i) = 0 \Rightarrow S(i) = -V \\ e(i) = 1 \Rightarrow S(i) = +V \end{cases}$$



**Figure 16. Principe du codage NRZ.**

Ce type de codage fait osciller le signal d'informations à transmettre entre deux états logiques non nuls, le récepteur pourra déterminer ainsi la présence ou non du signal.

### Le codage Manchester [12, 13]

Le code Manchester est obtenu à l'aide de la réalisation de la porte logique OU exclusif (XOR) entre le signal de l'horloge et l'information binaire à transmettre, le signal résultant de la porte logique aura la forme : un front montant en  $T/2$  pour les 1 logiques et un front descendant en  $T/2$  pour les 0 logiques (voir figure 17).

$$\begin{cases} e(i) = 0 \Rightarrow \begin{cases} S(i) = +V \\ S(i + \frac{T}{2}) = -V \end{cases} \quad \text{ou} \downarrow \\ e(i) = 1 \Rightarrow \begin{cases} S(i) = -V \\ S(i + \frac{T}{2}) = +V \end{cases} \quad \text{ou} \uparrow \end{cases}$$

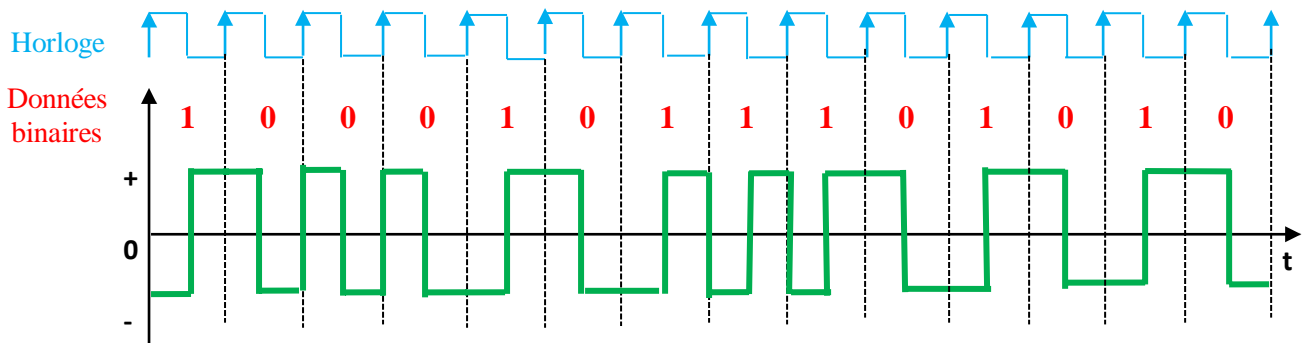


Figure 17. Principe du code Manchester.

### IV.3.6. Le codage BHDn[14]

#### Définition

Le **codage BHDn** (bipolaire à haute densité d'ordre n) est un codage à 3 niveaux comme les codages bipolaires, c'est-à-dire que les valeurs utilisées pour coder le signal composé de 0 et de 1 varieront entre  $-a$ , 0 et  $a$ . Il est utilisé dans les réseaux informatiques pour injecter sur le média physique (couche 1 du modèle OSI) les valeurs logiques correspondant au flux d'entrée.

#### Règle de codage

Le 'n' de BHDn indique le nombre de 0 que l'on peut envoyer. On le choisit en fonction de la fiabilité du support et du matériel. La valeur pour le premier 1 à envoyer est fixée par convention entre l'émetteur et le récepteur.

- **Si on doit envoyer un 1**, on envoie l'inverse de la valeur envoyée pour le pas précédent.
- **Si on doit envoyer un 0 :**
  - Si les  $n+1$  bits suivants ne sont pas tous à 0, on continue le codage comme en codage bipolaire simple.
  - Si les  $n+1$  bits suivants sont tous à 0, les  $n$  bits suivants sont codés à 0 et le  $n+1$  sera codé avec la même valeur que le code du 1 précédent (on viole alors l'alternance).
- **Après une violation de l'alternance :**
  - Si le bit suivant est un 1, il est codé avec la valeur inverse de celle qu'on vient de mettre pour l'alternance.
  - Si le bit suivant est un 0 :
    - Si les  $n+1$  bits suivants ne sont pas tous à 0, on continue le codage comme en codage bipolaire simple.
    - Si les  $n+1$  bits suivants sont tous à 0, le premier est codé avec la valeur inverse de celle qu'on vient de mettre pour l'alternance, les  $n-1$  bits suivants sont codés à 0 et le  $n+1^e$  sera codé avec la même valeur que le premier (on viole l'alternance).

### Influence du canal sur la transmission (en bande de base et en bande transposée).

#### La transmission en bande de base

La transmission en bande de base signifie que le signal est transmis sur le canal sans l'opération de modulation qui translate (éventuellement en le modifiant) le spectre du signal pour le centrer sur une fréquence porteuse  $f_0$ .

On dit que la transmission est en bande de base lorsque le signal d'information à transcrire ne subit aucune transposition en fréquence, dans ces conditions le signal présente la forme rectangulaire à cause de la forme ordinaire (rectangulaire) de la procédure de modulation simple utilisée.

Un signal d'information ne comporte plus une fréquence unique, ça veut dire qu'il pourrait y avoir plusieurs différentes fréquences liées ensemble ou bien superposés les unes aux autres. La transmission en bande de base consiste à transcrire directement les symboles numériques (suites de bits) sur le support, sur des distances limitées (de l'ordre de 30Km). La figure 18 résume la transmission des données en bande de base [11].

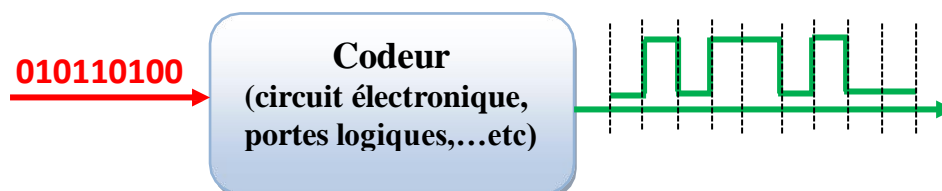


Figure 18. Codeur bande base.

Le codeur dans la bande de base transforme la suite de bit en suite de symboles prises dans un alphabet fini de  $q$  symboles,  $d_i \in \{a_1, a_2, \dots, a_q\}$ .

Tous les alphabets ont le même intervalle significatif qui est de l'ordre de  $nT$  ( $n \in \mathbb{N}$ ,  $T$  étant l'intervalle élémentaire).

Un tel procédé simple et peu coûteux ne peut être employé que si le support introduit par le décalage en fréquence (en particulier, on ne doit pas traverser de transformateurs d'isolement provoquant des coupures de circuits, ni d'éléments introduisant un décalage d'horloge comme les amplificateurs). On utilise donc en général sur des câbles à grande bande passante. Le débit maximum que l'on peut obtenir dépend de la longueur du câble et de sa section. La transmission en bande de base est désormais très largement utilisée, puisqu'elle est utilisée dans les réseaux locaux [11].

## Chapitre V. Influence du canal sur la transmission (en bande de base et en bande transposée)

---

- Toute transmission numérique est caractérisée par le débit binaire (D).
- Débit du moment en baud (M).
- Les nombres d'état par moment (m niveaux) d'amplitude m valeurs de phase.
- La capacité du canal  $C = B \cdot \log_2(1+S/N)$ .

Tout canal réel comporte les imperfections qui se traduisent dans le domaine temporel, pour les réponses indicielles et dans le domaine fréquentiel par l'affaiblissement ou fonction de transfert.

### Intérêt du codage en bande de base

Si l'on considère le signal numérique de la figure précédente, on peut remarquer les caractéristiques suivantes [12]:

- Son spectre est illimité (puisque les fronts sont raides : droit) mais concentré au tour de la fréquence nulle, or beaucoup de support ne laisse pas passer les composantes continues.
- Sa valeur moyenne est égale à  $\frac{1}{2}$  et l'on préfère généralement les signaux à valeur moyenne nulle.

Si le signal comporte les longues suites de bits identiques, il peut se poser des problèmes d'horloge du côté du récepteur. En effet nous savons que l'équipement terminal de communication de données (ETCD) récepteur comporte un organe de décision utilisant un échantillonneur. Pour bien fonctionner, l'échantillonneur doit connaître l'intervalle significatif [12].

### Les différents codages en bande de base

Avant l'injection des informations dans un canal, un codage est nécessaire. Le choix d'un code est fonction du spectre de ce code, la bande passante disponible du bruit et interférence du canal, du contrôle de la performance, de la tenue en horloge et la fiabilité de la réalisation [12].

### Les critères de choix d'un codage

Les codages et leur adaptation de support: Les supports de transmission coupent brutalement les fréquences au voisinage de la fréquence nulle. Le codage le plus mal adapté est le NRZ puisque la naissance est concentrée dans les basses fréquences. Le codage biphasé à un spectre particulièrement large et ne peut être envisagé sur les supports en large bande (exemple: câble coaxial, câble croisé). On préfère en général le code bipolaire qui pour une même largeur de bande permet un débit au moins 2 fois plus élevé [11].

## Chapitre V. Influence du canal sur la transmission (en bande de base et en bande transposée)

---

### Les codages et résistances aux bruits

Nous avons vu que la sensibilité au bruit est directement liée au nombre de niveau du signal. On remarquera que les codes bipolaires de valence 3 sont plus sensibles aux erreurs que le codage à 2 niveaux [11, 12].

### Le codage et les problèmes d'horloge

Nous avons vu que le nombre suite de bits identiques complique la tâche du récepteur lorsque l'horloge est reconstituée à partir de transmission du signal. Les codes BHD<sub>n</sub> apporte une réponse à ce problème mais ces techniques peuvent rendre le décodage des données impossible en cas d'erreur (une viole intempestive à cause d'un bruit introduira une série d'erreurs). Aucune méthode de codage pour les transmissions en bande de base n'est à priori parfaite donc le type de codage doit être choisi en fonction des paramètres connus du support. Avec l'avènement des réseaux locaux seul un petit nombre de codage en bande de base sont réellement employé [11, 12].

### La régénération

Il faut rappeler qu'un canal est caractérisé par sa fonction de transfert dans les domaines fréquentiels ou par sa réponse indicielle dans le domaine tempore. Il est également caractérisé par la densité spectrale du bruit et par la diaphonie [11, 12].

### La confusion inter symboles

Nous avons considéré que les impulsions sont rectangulaires dans un canal de transmission en bande de base par crête mais en réalité la bande passante d'un canal de transmission est toujours limitée, ce qui induit un étalement dans le temps des impulsions acheminées dans ce canal. Ce défaut entraîne un recouvrement entre l'impulsion correspondante à des périodes d'échantillonnage adjacentes. Il peut en résulter une ambiguïté des réceptions puisqu'on ne sait quelle valeur attribuer à l'échantillon parasite transmis par le canal. Ce phénomène de recouvrement est appelé confusion inter symbole (inter symbole interférence ISI), il provoque une diaphonie sur les liaisons multiplexes [11, 12].

### L'influence du canal sur la transmission transposée

L'infrastructure d'un réseau, la qualité de service offerte, les solutions logicielles à mettre en œuvre, dépendent largement des supports de transmission utilisés. Les supports de transmission exploitent les propriétés de conductibilités des métaux (paires torsades, câble coaxial) ou celles des ondes électromagnétiques (faisceau hertzien, fibre optique). Dans cette partie, nous allons passer en revue quelques caractéristiques essentielles des supports de transmission sachant que les possibilités de transmission (débit, taux

## Chapitre V. Influence du canal sur la transmission (en bande de base et en bande transposée)

d'erreurs, distance franchissable,.....) dépendent essentiellement des caractéristiques et de l'environnement de celui-ci[12, 13].

### L'affaiblissement

Un canal de transmission atténue (affaiblit) l'amplitude du signal qui le traverse. Le phénomène d'atténuation correspond à une perte d'énergie du signal pendant sa propagation sur le canal, est s'accroît avec la longueur de celui-ci. La quantité d'énergie perdue dépend très étroitement de la fréquence du signal et de la bande passante du système [12, 13].

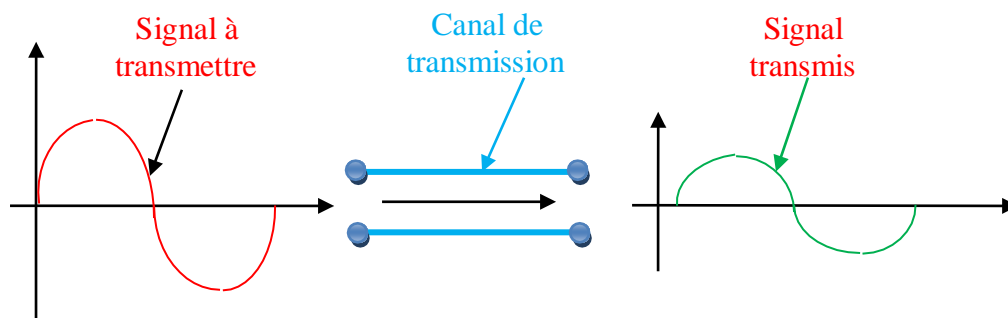
On mesure l'atténuation par le rapport  $P_s/P_e$  où  $P_s$  est la puissance du signal à la sortie du canal et  $P_e$  la puissance du signal à l'entrée du canal. Il est courant d'exprimer l'atténuation en décibels (dB) sous la forme:

$$A(\text{dB})= 10\log(P_s/p_e)$$

### Le déphasage

Le déphasage, encore appelé distorsion de phase, implique un retard du signal reçu par rapport au signal émis dû au temps de propagation de ce signal de l'émetteur vers le récepteur [11, 13].

La figure 19 illustre les phénomènes d'atténuation et de retardement subit par un signal de forme sinusoïdale.



La figure 19. Illustration des phénomènes d'atténuation et de retardement subit pour un signal sinusoïdal traversant un canal

### La bande passante

La largeur de la bande passante est la caractéristique essentielle d'un support de transmission, qui se comporte généralement comme un filtre qui ne laisse donc passer qu'une bande limitée de fréquence appelée bande passante[11, 13].

Toute fréquence en dehors de cette bande est fortement affaiblie (voir figure 20).

## Chapitre V. Influence du canal sur la transmission (en bande de base et en bande transposée)



Figure 20. Déformation du signal par le support de transmission

### Le bruit

Le bruit est un signal perturbateur provenant du canal lui-même ou de son environnement externe. Il est de comportement aléatoire et vient s'ajouter au signal véhiculant les informations et provoquer ainsi les erreurs de transmission (on va voir dans la dernière partie de ce chapitre comment protéger l'information contre ce bruit) [13].

On distingue généralement deux types de bruit : le bruit blanc et le bruit impulsif.

#### A. Bruit blanc

Le bruit blanc est un bruit dont la puissance est uniformément répartie dans toute la bande passante du canal, il s'agit essentiellement d'un bruit provoqué par l'agitation thermique des électrons dans le conducteur électrique [13].

#### B. Bruit impulsif

Comme son nom l'indique ce type de bruit est à caractère impulsif, il se présente sous forme de tensions perturbatrices de valeur élevée mais de durée brève. Ces bruits sont très gênants pour la transmission de données, car le signal perturbateur modifie la forme du signal reçu à des instants quelconques (aléatoires) telles qu'il se produit des erreurs à la réception. Les sources de bruit impulsif sont nombreuses. On peut citer notamment [13] :

- La diaphonie : est d'une manière générale, une influence mutuelle indésirable entre signaux utiles transmis sur des conducteurs voisins l'un de l'autre dans l'espace, par exemple dans un même câble. Cela résulte principalement d'un couplage inductif dû au champ magnétique de l'une des lignes sur l'autre et réciproquement.
- Les brusques variations de courant sur les lignes d'alimentations électriques.
- Phénomènes atmosphériques, solaires, ou autres.

#### Notion de signal sur bruit [13]

La quantité de bruit présente sur un canal de transmission, est exprimé par le rapport de la puissance du signal transmis sur la puissance de bruit et prend le nom de rapport signal

## Chapitre V. Influence du canal sur la transmission (en bande de base et en bande transposée)

---

sur bruit, nous écrivons ce rapport  $S/B$  et on a coutume de l'exprimer sous la forme:

$$\text{Signal/Bruit} \equiv 10 \log(S/B)(\text{dB}).$$

Ce rapport varie dans le temps, puisque le bruit n'est pas uniforme, toutefois on peut en estimer une valeur moyenne sur un intervalle de temps. Le rapport signal sur bruit est aussi une caractéristique d'un canal de transmission.

## Références

---

### Références

- [1] T. H. Maiman, ‘*Stimulated optical radiation in Ruby masers*’, Nature, vol. 187, pp. 493, 1960.
- [2] Vincent Auroux, ‘Application des lasers fibrés à verrouillage de modes à la génération très haute fréquence à haute pureté spectrale’, Micro et nanotechnologies/ Microélectronique, UNIVER-SITE TOULOUSE 3 PAUL SABATIER (UT3 PAUL SABATIER), 2017. Français.
- [3] M. T. BENHABILES, ‘*Télécommunications fondamentales, cours et TD*’, Université des Frères Mentouri Constantine 1.
- [4] Mc Graw HILL Fr, ‘*Communications analogiques et numérique, série de Schaum*’, 2000.
- [5] Télécoms 1. ‘*De la transmission à l’architecture des réseaux, 2eme édition*’, Claude Servin, Edition Dunod, 2000.
- [6] Christophe More, ‘*Transmission de signaux : cours et exercices d’électronique*’, Tec & Doc Lavoisier, 1995.
- [7] A. Hamouda, ‘*Etude et conception d’un générateur d’impulsions solitoniques picosecondes à ultra-haut débit tout fibré*’, thèse de doctorat, université Badji Mokhtar Annaba, 2017.
- [8] A. Hamouda, K. Saouchi, ‘*Breves generator of pulses has different flow rates (40 GHz, 80 GHz, and 160 GHz)*’, Journal of New Technology and Material, Vol. 07(01), p. 27-32, 2017.
- [9] Dunod, Paris, 2003,ISBN 2 10 007986 7.
- [10] Réseaux , Ed.Tittel , Edition Schaum’s , 2003.
- [11] <https://www.mongosukulu.com/index.php/contenu/informatique-et-reseaux/telecommunications/703-la-transmission-en-bande-de-base>, 08/03/2021.
- [12] <https://mrproof.blogspot.com/2011/10/transmission-en-bande-de-base-les.html>, 04/04/2021
- [13] <http://cte.univ-setif.dz/coursenligne/lahcene/chap2.html>, 04/04/2021
- [14] [Codage BHDn — Wikipédia \(wikipedia.org\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Codage_BHDn), 12/09/2021.