

Encodage

(IFT3325)

A. S. Hafid

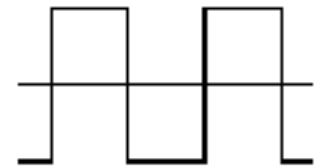
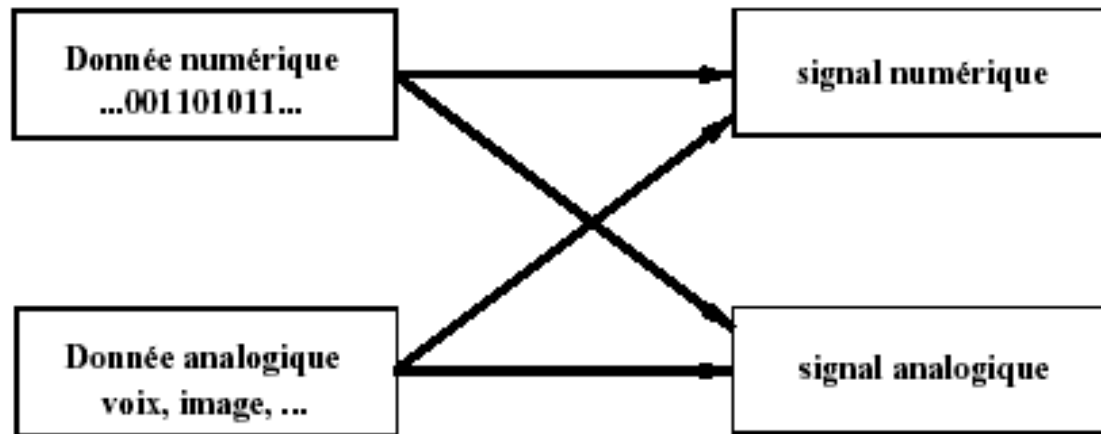
e-mail: ahafid@iro.umontreal.ca

phone: (514) 343-2446

Plan

- Encodage numérique – numérique
- Encodage numérique – analogique
- Encodage analogique – numérique
- Encodage analogique – analogique
- Transmission Synchrone Vs. Transmission asynchrone

Techniques d'Encodage

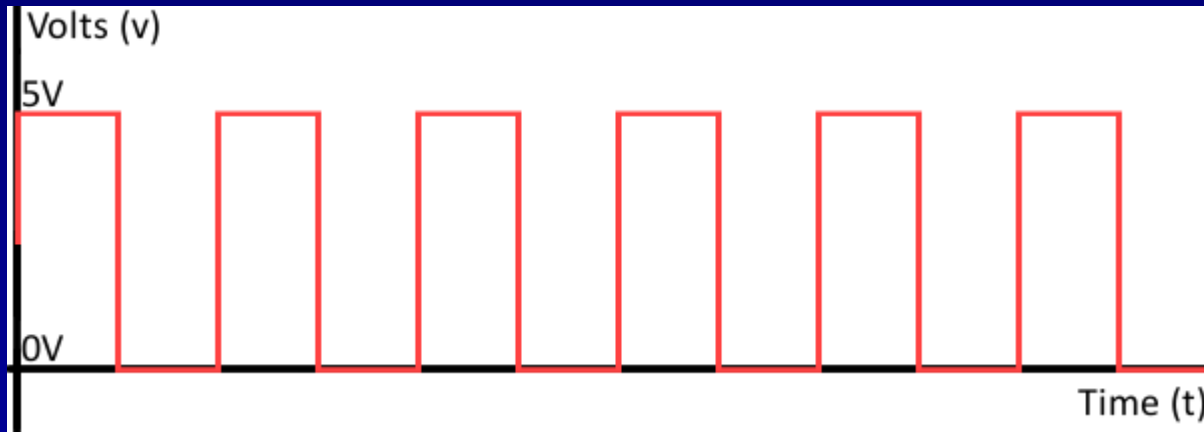


Interprétation d'un signal digital

- Connaitre, avec une certaine précision, quand le bit commence et quand le bit termine
- Doit déterminer la valeur du signal
 - Lire la valeur au milieu du bit
 - Par exemple, il y a une valeur prédéterminée: si plus petit c'est le bit 0, sinon c'est le bit 1

Encodage numérique –numérique

- Pourquoi on a besoin de ce type d'encodage?



Encodage numérique – numérique

- Synchronisation
 - Synchroniser l'émetteur et le receveur
 - Horloge

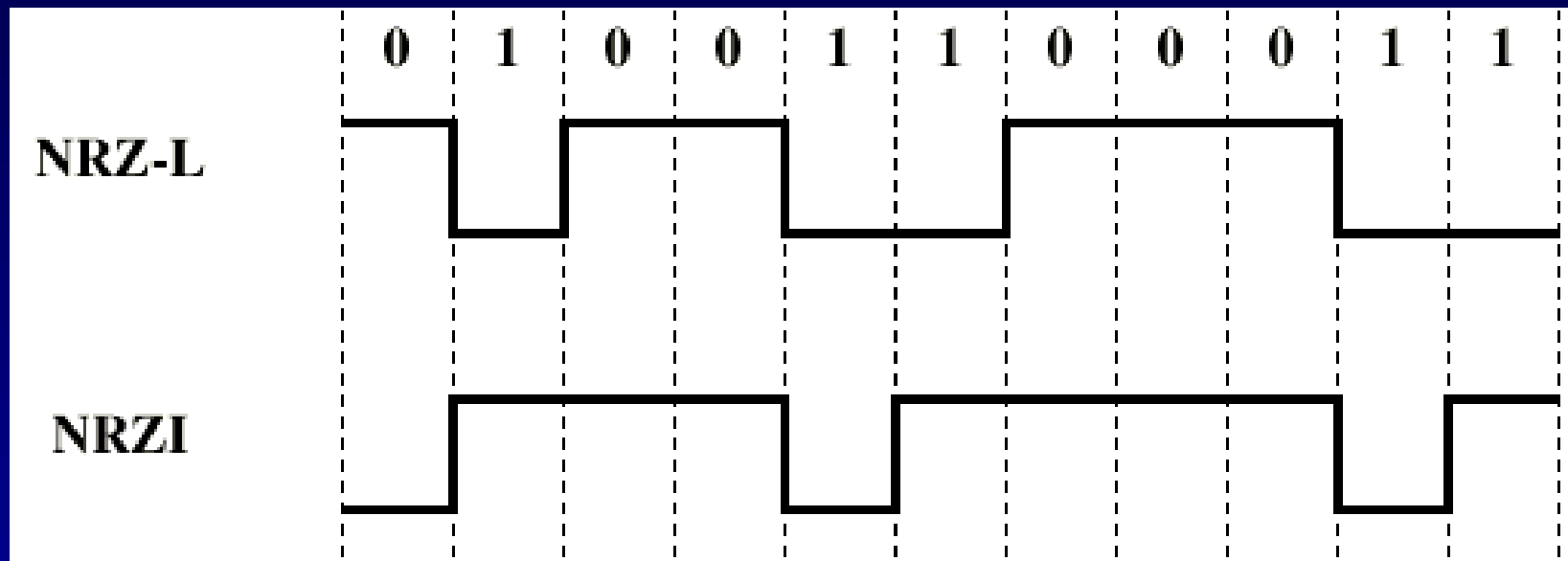
Techniques d'Encodage

- Non-retour à zéro (NRZ-L)
- Non-retour à zéro inversé (NRZI)
- Bipolaire -AMI
- Pseudoternary
- Manchester (biphase)
- Manchester différentiel
- B8ZS
- HDB3

NRZ-L

- 2 voltages différents pour les bits 0 et 1
- Voltage constant durant l'intervalle d'un bit
 - Pas de transition
- e.g. Absence de voltage pour zéro et voltage constant positif pour 1
- Généralement, voltage négatif pour une valeur et voltage positif pour l'autre

NRZ



- NRZI
 - Une transition (bas vers le haut ou haut vers le bas) représente 1
 - pas de transition représente 0

NRZ

- Avantages?
- Désavantages?

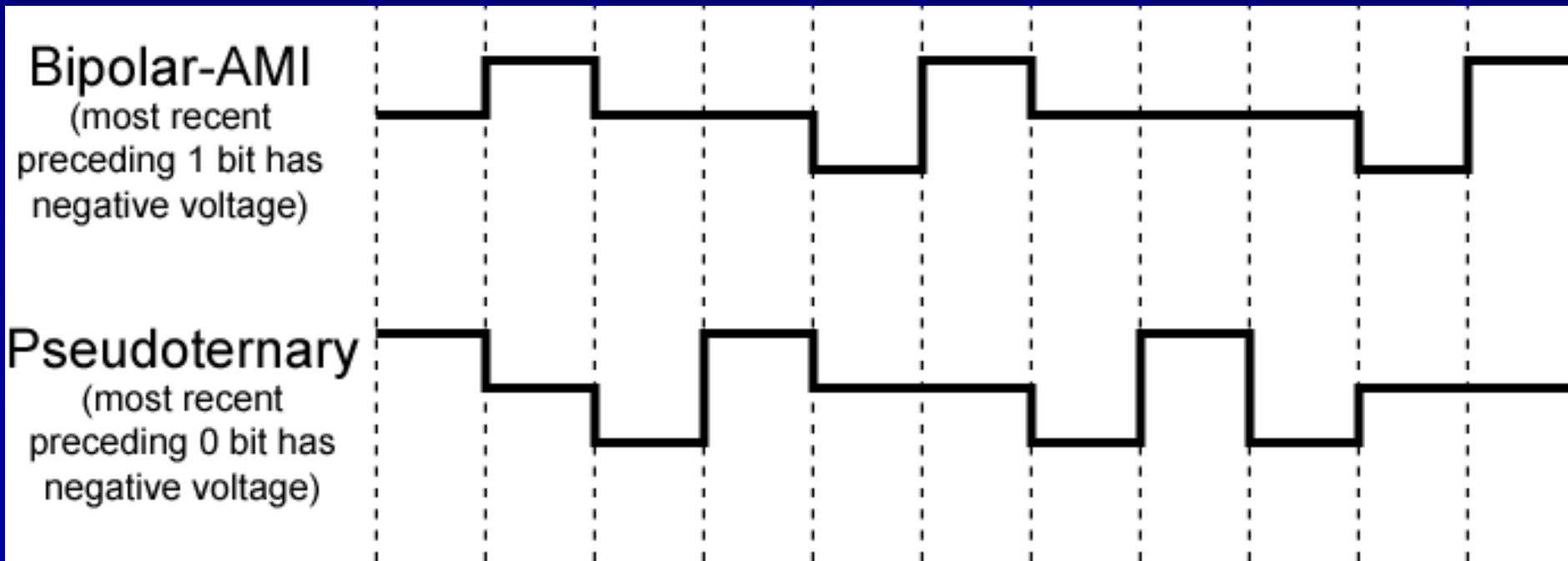
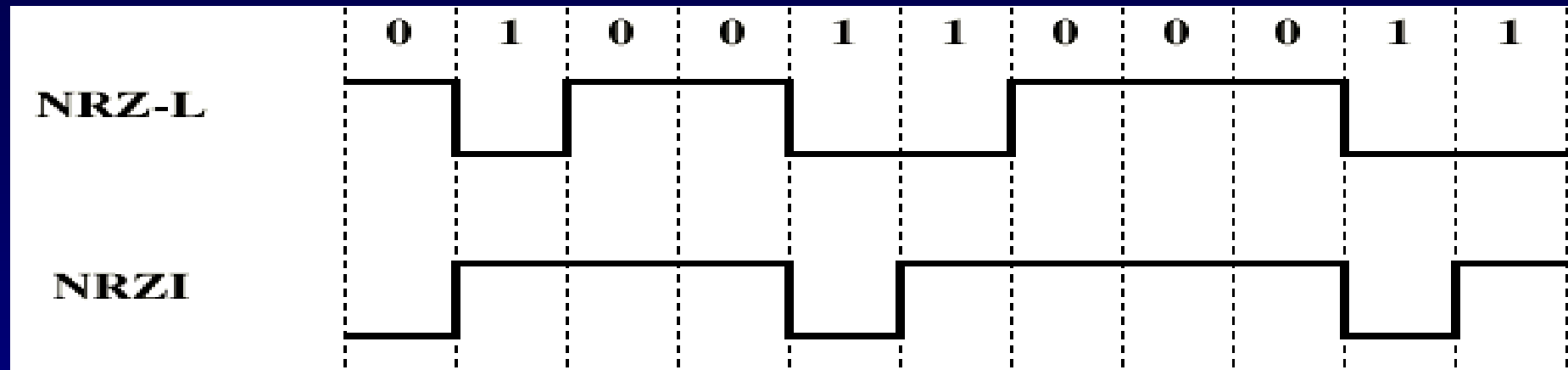
NRZ

- Avantages
 - Facile à réaliser
 - Bonne utilisation de largeur de bande
- Désavantages
 - Manque de la capacité de synchronisation
- Généralement utilisé pour le stockage
- Généralement, il n'est pas utilisé pour la transmission de signal

Bipolaire-AMI

- 0 est représenté par l'absence de signal
- 1 est représenté par une pulse négative ou positive qui s'alternent
- Les pulses représentant 1 changent de polarité

Bipolaire-AMI et Pseudoternary



Bipolaire-AMI

- Problème?

Bipolaire-AMI

- On peut perdre la synchronisation lorsqu'il y a une longue suite de 0 (une suite de 1 n'est pas un problème)

Pseudoternary

- 1 représenté par l'absence de signal
- 0 représenté par une pulse positive et négative qui s'alternent
- Pas d'avantage ou désavantage sur bipolaire AMI

Bipolaire-AMI et Pseudoternary (Cont.)

- Efficacité?

Bipolaire-AMI et Pseudoternary (Cont.)

- Pas efficace comme NRZ
 - Chaque élément de signal représente un seul bit
 - Dans un système à trois niveaux, un élément de signal peut représenter $\log_2 3 = 1.58$ bits
 - Le receveur doit pouvoir distinguer 3 niveaux (+A, -A, 0)

Bipolaire-AMI et Pseudoternary: Avantage!

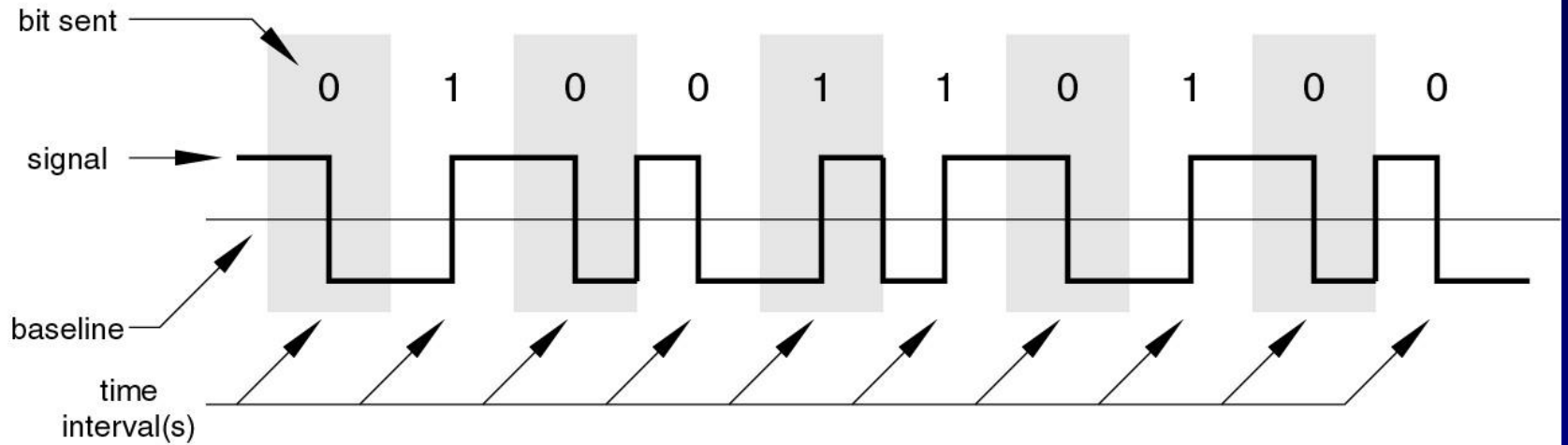
- Facilité de détecter les erreurs

Biphase

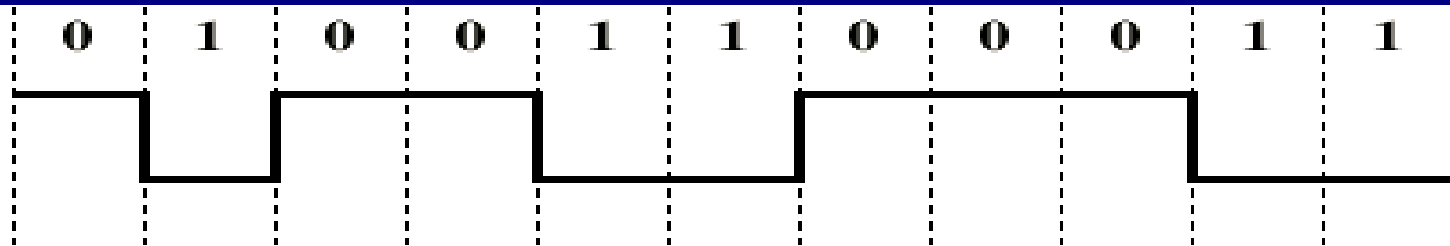
- Manchester
 - Transition au milieu de chaque période de bit
 - Transition joue le rôle d'horloge et de données
 - Bas à haut représente 1
 - Haut à bas représente 0
 - Utilisé par IEEE 802.3

Manchester

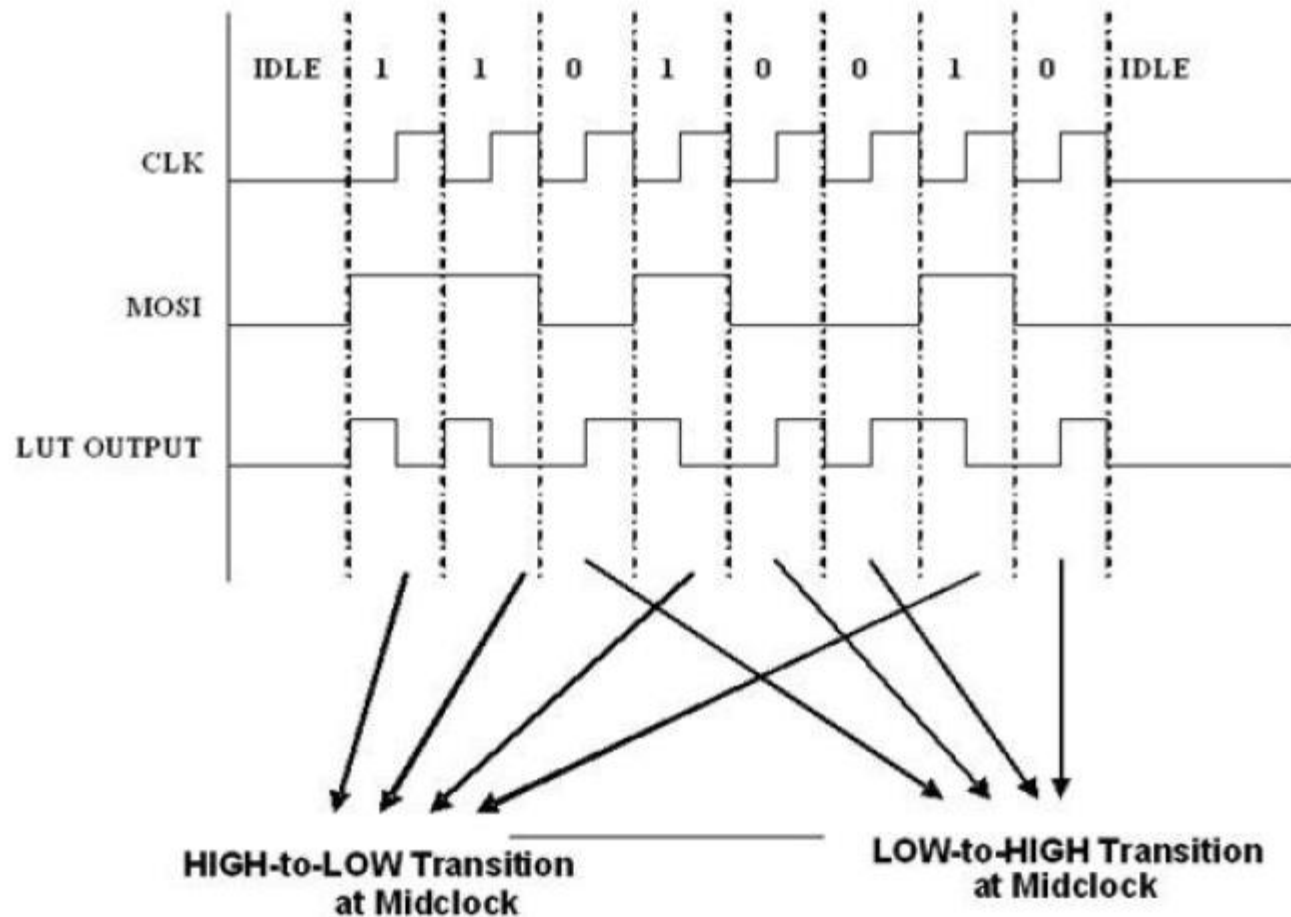
Manchester Encoding



NRZ-L



Manchester: Codage

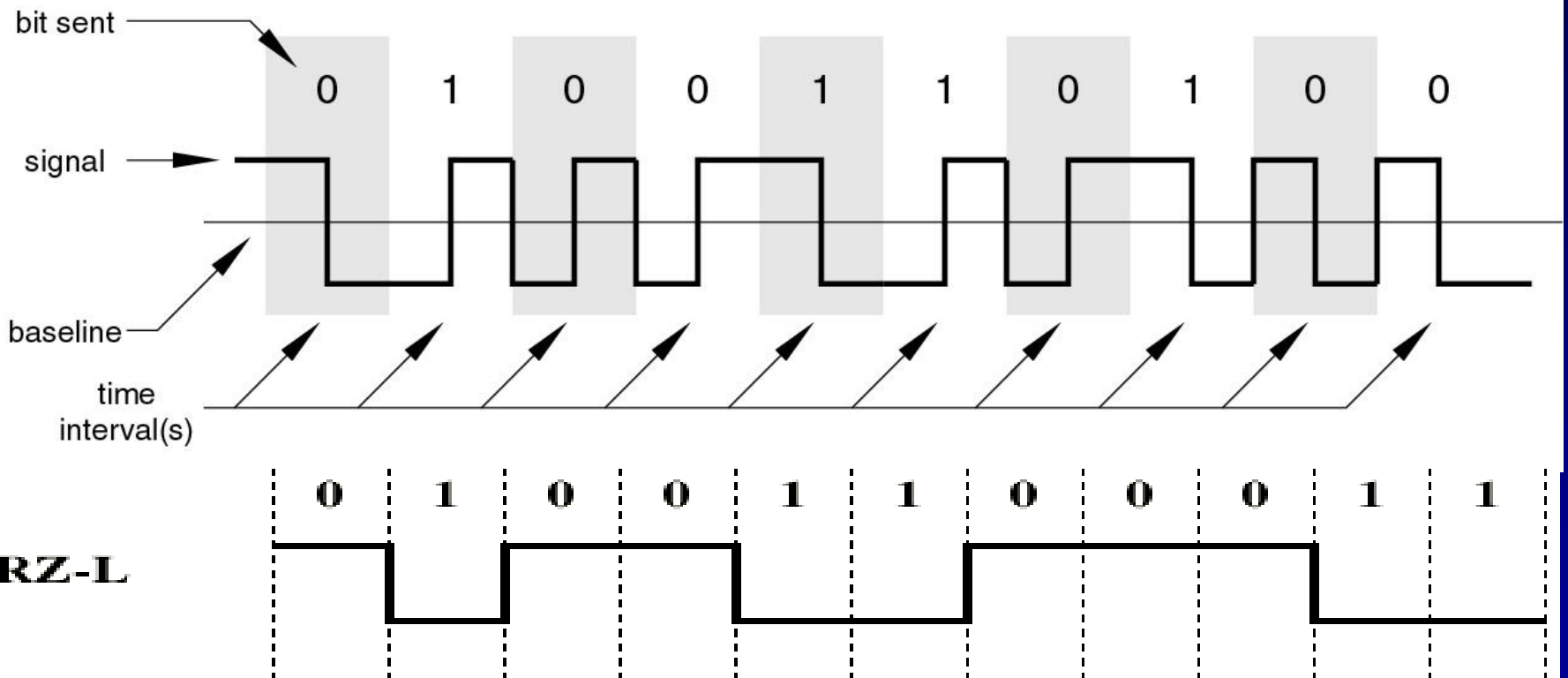


Biphase

- Manchester différentiel
 - La transition au milieu d'une période d'un bit représente l'horloge seulement
 - La transition au début d'une période de bit représente 0
 - Pas de transition au début d'une période de bit représente 1
 - Utilisé par IEEE 802.5

Manchester Différentiel

Differential Manchester Encoding



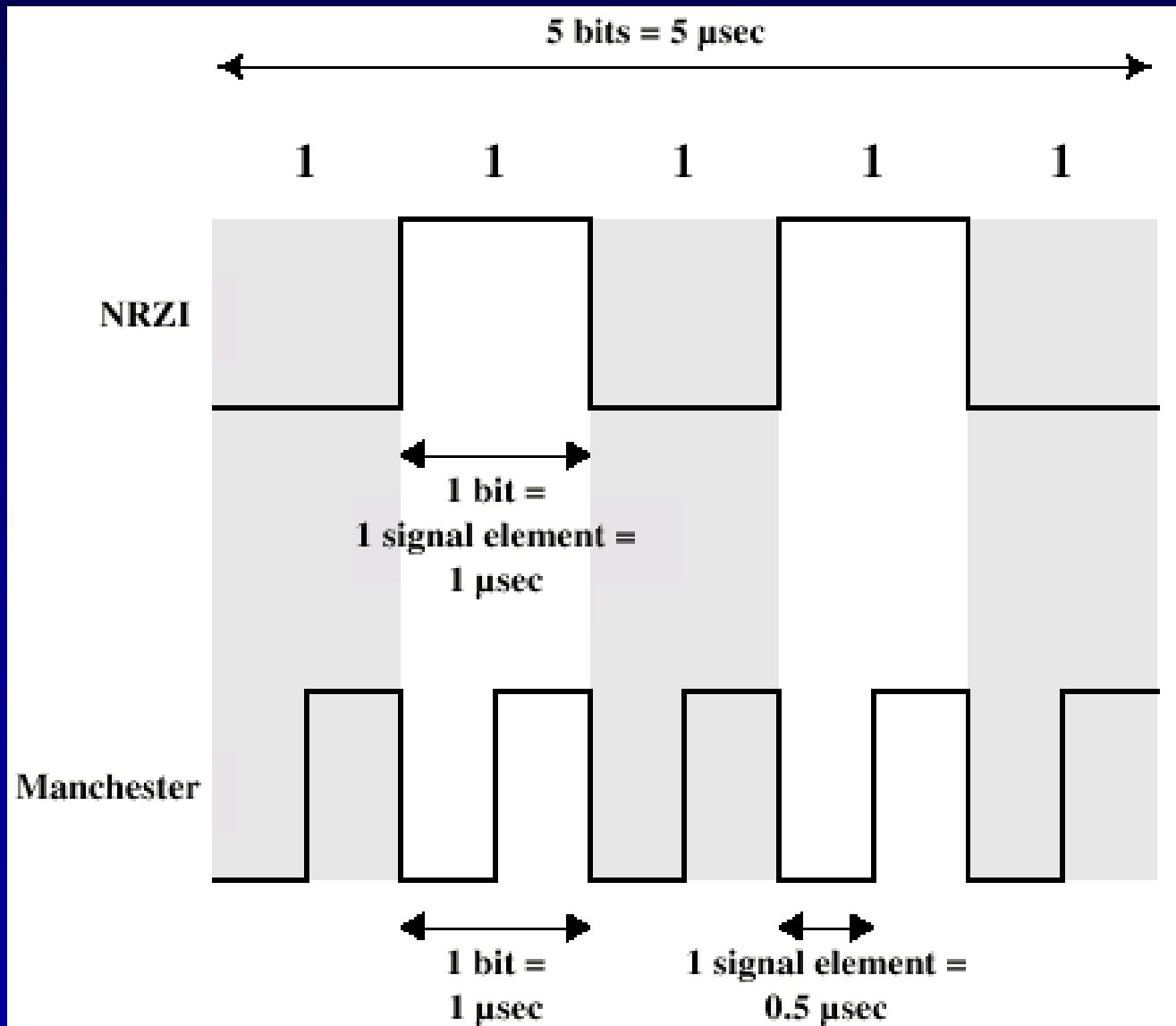
Biphase (Cont.)

- Désavantages?
- Avantages?

Biphase (Cont.)

- Désavantages
 - Au moins une transition par une période de bit et possiblement 2
 - Le taux maximum de modulation est le double de NRZ
 - Demande plus de largeur de bande
- Avantages
 - Synchronisation au milieu de la transition de bit
 - Détection d'erreur
 - Absence de transition attendue

Taux de Modulation



Question

- Pour bipolaire, il y a un problème quand il y a une longue suite de 0.
- À votre avis comment on peut résoudre ce problème?

Scrambling

- Utiliser scrambling pour remplacer les séquences de bits qui produisent un voltage constant
- Séquence de remplacement: exigences?

Scrambling

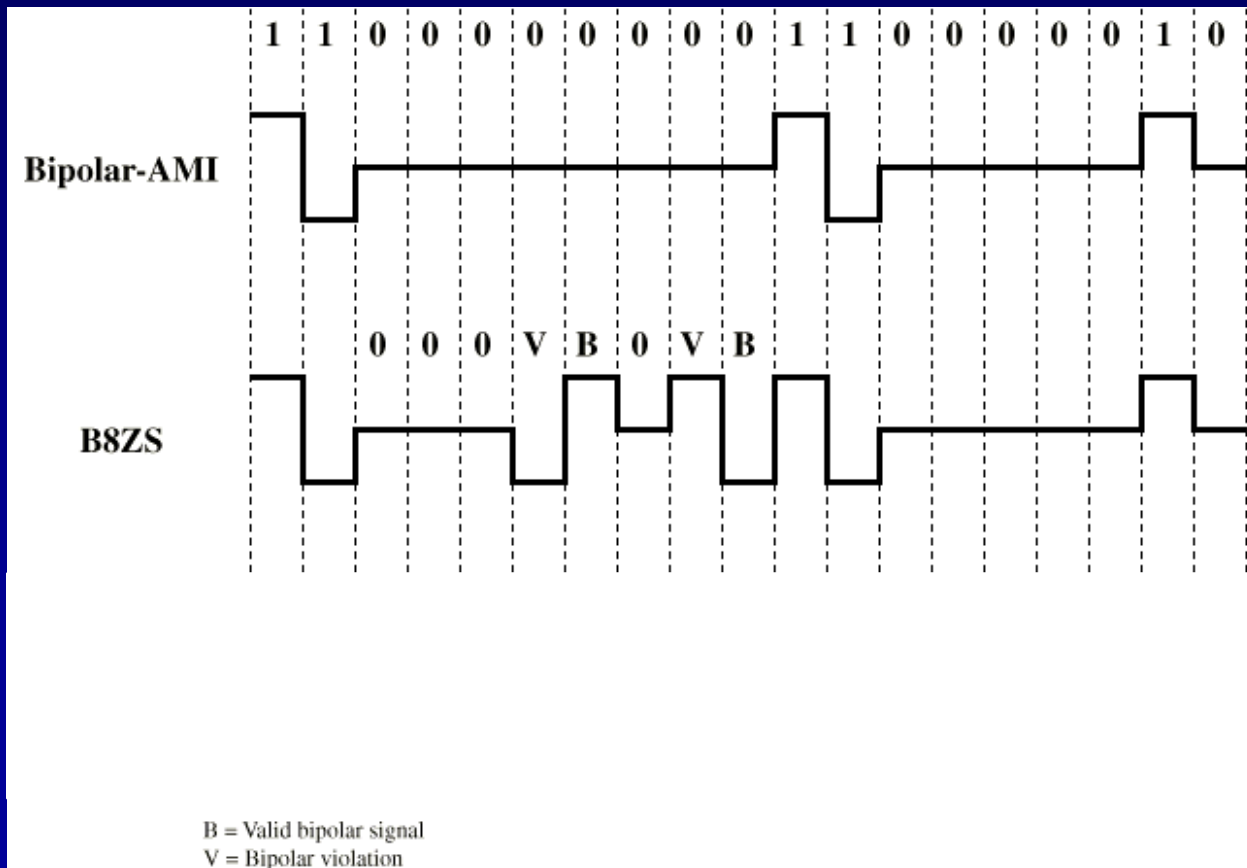
- Séquence de remplacement
 - Doit produire assez de transitions pour la synchronisation
 - Doit être reconnu par le receveur et remplacé avec le signal d'origine
 - même longueur que le signal d'origine

B8ZS et HDB3

- B8ZS
 - Bipolar With 8 Zeros Substitution
 - Si 8 zéros consécutifs et le dernier pulse de voltage est positive, donc coder comme 000+-0-+
 - Si 8 zéros consécutifs et le dernier pulse de voltage est négative, donc coder comme 000-+0+-
- HDB3
 - High Density Bipolar 3 Zeros
 - Basée sur bipolaire-AMI
 - Séquence de 4 zéros remplacée avec un ou 2 pulses
 - Si le dernier pulse de voltage est positive et nombre de pulses bipolaires est impair donc 000+
 - Si le dernier pulse de voltage est positive et nombre de pulses bipolaires est pair donc -00-
 - Si le dernier pulse de voltage est négative et nombre de pulses bipolaires est impair donc 000-
 - Si le dernier pulse de voltage est négative et nombre de pulses bipolaires est pair donc +00+

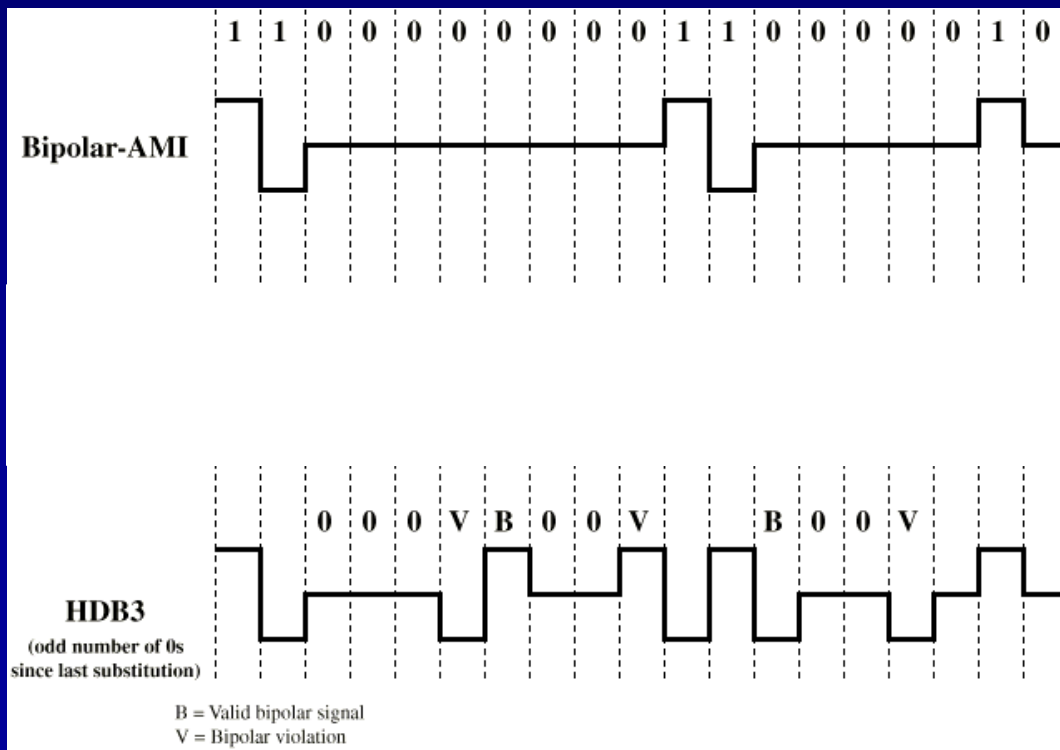
B8ZS et HDB3 (cont.)

- Si 8 zéros consécutifs et le dernier pulse de voltage est positive, donc coder comme 000+-0-+
- Si 8 zéros consécutifs et le dernier pulse de voltage est négative, donc coder comme 000-+0+-



B8ZS et HDB3 (cont.)

- Séquence de 4 zéros remplacée avec un ou 2 pulses
 - Si le dernier pulse de voltage est positive et nombre de pulses bipolaires est impair donc 000+
 - Si le dernier pulse de voltage est positive et nombre de pulses bipolaires est pair donc -00-
 - Si le dernier pulse de voltage est négative et nombre de pulses bipolaires est impair donc 000-
 - Si le dernier pulse de voltage est négative et nombre de pulses bipolaires est pair donc +00+



Encodage numérique – numérique:

Critères de comparaison

- Synchronisation
 - Supporte ou non
- Complexité et coût
 - Des techniques exigent un taux de signal supérieur au taux de données
- Détection d'erreurs
 - Peut faire partie de l'encodage du signal

Encodage numérique – numérique:

- Utilisé principalement pour des liaisons filaires courtes
Objectif : rendre les flux de bits plus faciles à interpréter de manière fiable
 - Garantir des transitions pour le synchronisme des bits
 - Permettre une détection simple d'erreurs
- Exemples :
 - Codage 8b/10b dans USB 3.0, Ethernet Gigabit
 - Ethernet
 - 10BASE-T: Manchester
 - 1000BASE-TX: 8b/10b
 - 10GBASE-R : 64b/66b
 - Ligne T1 (1.544 Mbps, North America): AMI + B8ZS

8b/10b

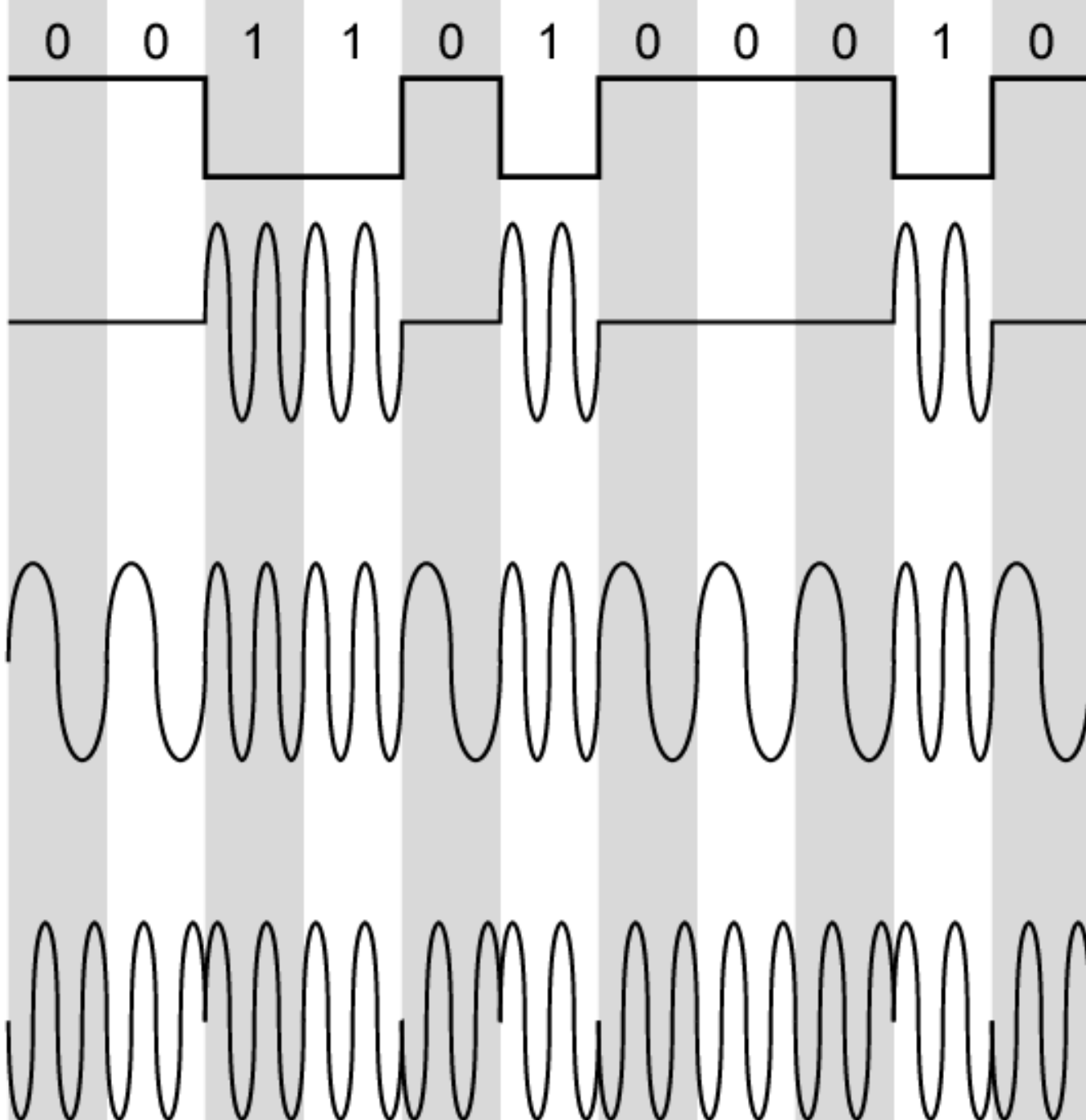
- 8b/10b is a digital-to-digital block line coding scheme developed by IBM.
 - It maps 8-bit data into 10-bit codewords
- Each 8-bit input value is mapped to one or two possible 10-bit outputs depending on the running disparity.
- The transmitter chooses the encoding that keeps the cumulative disparity close to zero.
- The receiver, which also tracks disparity, can then unambiguously decode the received 10-bit symbol back into the correct 8-bit data or control symbol.

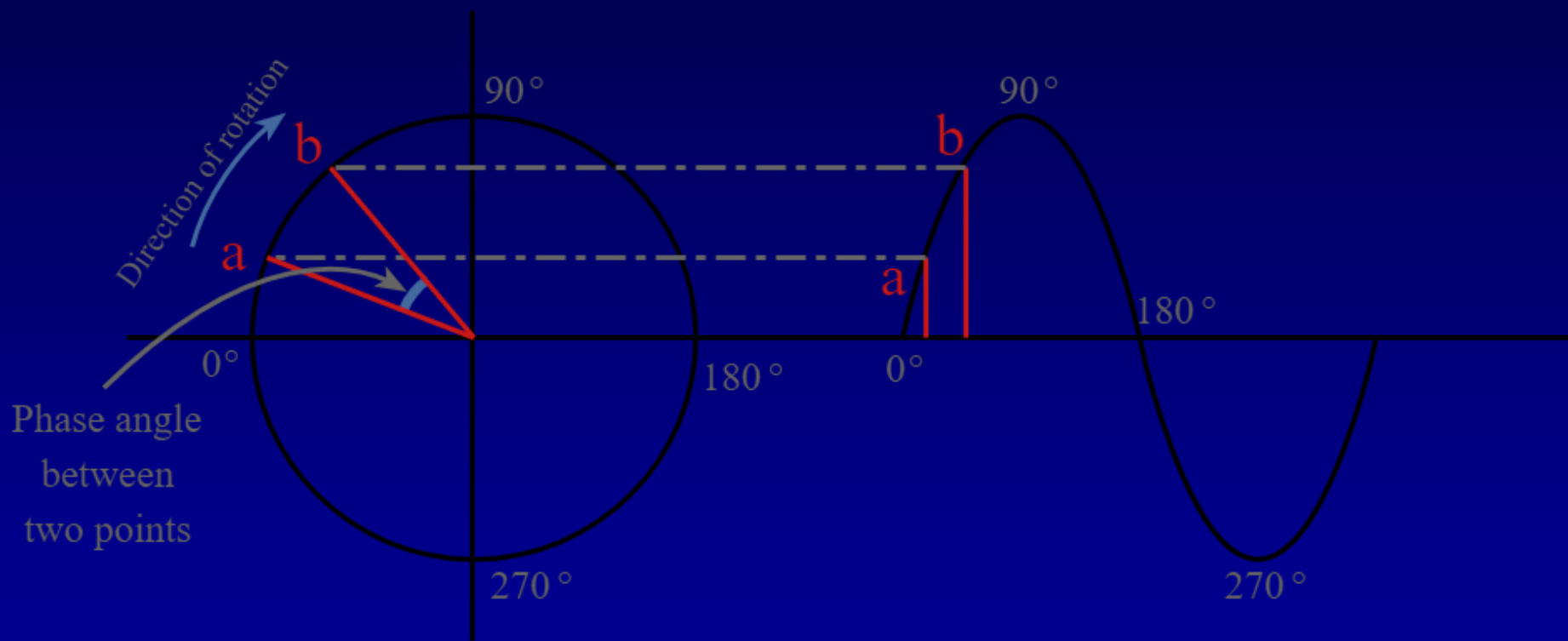
Encodage Numérique – Analogique

- Une onde transmise sans modification, à une fréquence fixe ne transmet aucune information: on parle d'une onde porteuse.
- Pour transmettre une information, il faut modifier l'onde porteuse.
 - Les données numériques sont encodées en signaux analogiques.
- Les modifications, appelées *modulations* permettent de coder l'information à transmettre.
 - On modifie un ou plusieurs paramètres de l'onde porteuse, tels que sa phase, son amplitude ou sa fréquence.

Encodage Numérique – Analogique (Cont.)

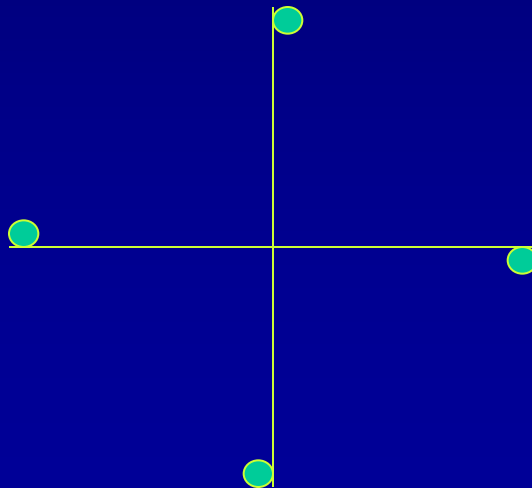
- **Modulation d'amplitude (AM)**
 - deux différents niveaux de voltage sont utilisés pour représenter 0 et 1. La fréquence reste constante.
 - Sensible aux changements brusques
 - Pas efficace
- **Modulation de fréquence (FM)**
 - deux (ou plusieurs) fréquences différentes représentent 0 et 1. L'amplitude reste constante
 - La plus utilisée est FM binaire (i.e., 2 fréquences)
 - Moins sensible aux erreurs que AM
- **Modulation de phase (PM)**
 - la phase de l'onde porteuse varie de 45, 135, 225 ou 315 degrés à des instants régulièrement espacés. Chaque changement de phase transmet 2 bits d'information.
 - En présence de bruit, le taux d'erreur de bit de PM est supérieur de ~3dB par rapport à celui de AM et FM





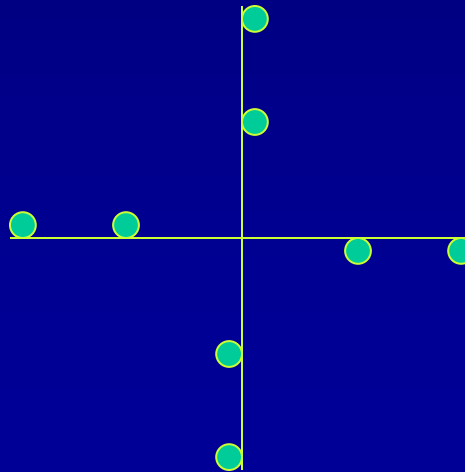
Encodage Numérique – Analogique

- Si on prévoit 4 valeurs pour un des paramètres (ici la phase), on peut transmettre 2 bits à la fois
 - Le nombre de bits transmis par seconde est 2 fois plus grand que le nombre de bauds.



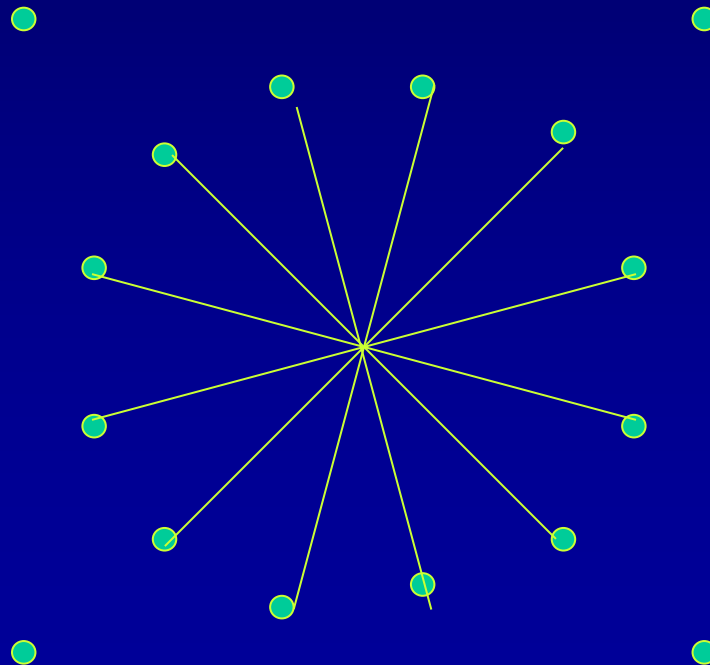
Encodage Numérique – Analogique (Cont.)

- On peut combiner la modification de plusieurs paramètres (ici 4 valeurs de la phase et 2 valeurs de l'amplitude).
 - Le nombre de bits transmis par seconde est 3 fois plus important que le nombre de bauds.



Quadrature PM

- Plus efficace; chaque élément de signal représente plus d'un bit
 - Chaque élément du signal représente 4 bits
 - La phase change en multiple de 90°
 - Peut utiliser 8 phases et plus d'une amplitude
 - Utilisé pour transmettre 9.600 bits par seconde sur une ligne à 2.400 bauds



Encodage Numérique – Analogique

- Mappe les bits numériques sur des formes d'ondes analogiques (amplitude, phase, fréquence)
- Initialement utilisée pour transmettre des données numériques sur le réseau téléphonique analogique (modems)
- Aujourd'hui : utilisée pour l'efficacité et les haut-débits
 - Augmenter l'efficacité spectrale (plusieurs bits par symbole)
 - Adapter l'ordre de modulation à la qualité du canal
 - Permettre la transmission sur radio, fibre, longs câbles cuivre
 - Assurer une communication haut-débit fiable avec correction d'erreurs (FEC)

Encodage Numérique – Analogique: Utilisation

- Ethernet
 - PAM-5, PAM-4 dans les liaisons haut-débit (Amplitude)
- Wi-Fi
 - QAM jusqu'à 1024-QAM (Amplitude and Phase)
- 4G/5G
 - QPSK (4-QAM), 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM
- Réseaux optiques
 - QPSK, 16-QAM et plus
- Télévision par câble
 - QAM

Lien entre FEC (couche physique) et correction d'erreurs (couche liaison)

- La couche liaison (Ethernet, Wi-Fi, etc.) détecte les erreurs avec CRC et les corrige par retransmission (ARQ)
 - Fiable mais coûteux si le délai ou la bande passante est critique.
- La couche physique moderne ajoute un FEC (Forward Error Correction).
 - Bits redondants ajoutés par l'émetteur.
 - Le récepteur corrige directement certaines erreurs sans retransmission.
- Pourquoi FEC au niveau physique ?
 - Les systèmes haut-débit (PAM-4, QAM-256) sont très sensibles au bruit.
 - La retransmission n'est pas possible ou trop lente (fibre optique, satellite, 5G).
 - Le FEC réduit le BER (bit error rate) avant même d'arriver à la couche liaison.

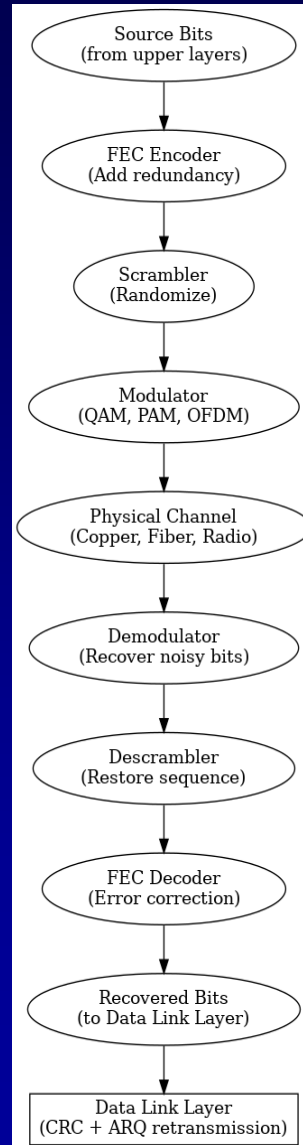
Lien entre FEC (couche physique) et correction d'erreurs (couche liaison): Exemples

- Fibre optique
 - Reed–Solomon FEC
- 5G NR
 - LDPC et codes polaires
- Wi-Fi 6
 - LDPC

Reed–Solomon FEC

- Idée de base
- Je veux envoyer $\text{Data} = (3, 7)$
- J'exécute 2 calculs
 - $\text{Check1} = 3 + 7 = 10$
 - $\text{Check2} = 3 + 2 \cdot 7 = 17$
- J'envoie $\text{Data} = (3, 7, 10, 17)$
- Si le « 7 » est corrompu, le récepteur dispose encore de $(3, ?, 10, 17)$. En utilisant les équations de contrôle, il peut recalculer et retrouver que le nombre manquant doit être 7.

Diagramme

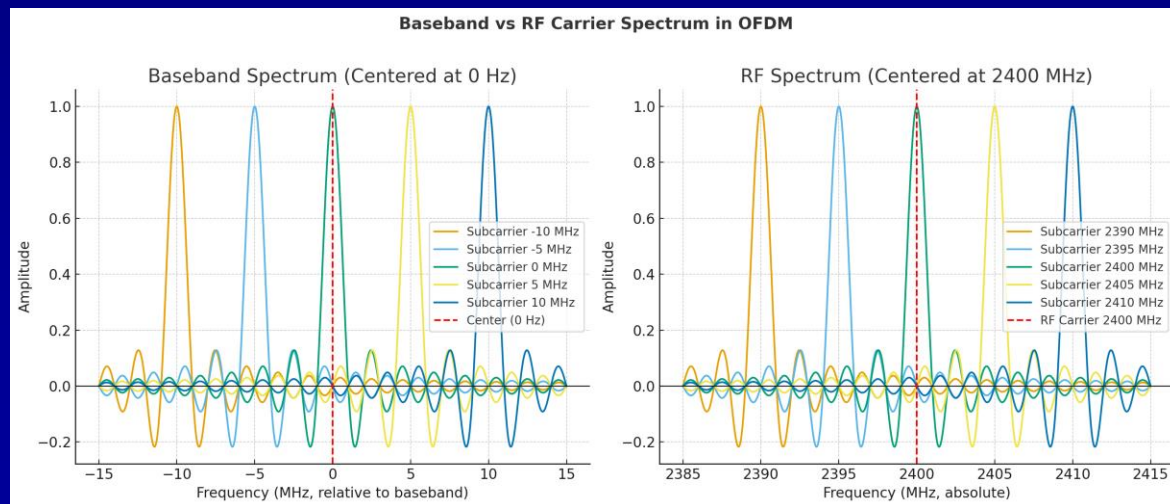


Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

- Les communications modernes exigent des débits très élevés (vidéo, Internet, cloud, 5G...).
- L'OFDM permet de maximiser le débit
 - transmission parallèle sur de nombreuses sous-porteuses.
 - .Utiliser efficacement le spectre.
- Exemples d'utilisation
 - 4G / 5G
 - Wi-Fi haut débit
 - Télévision numérique (HD)
 - Etc.

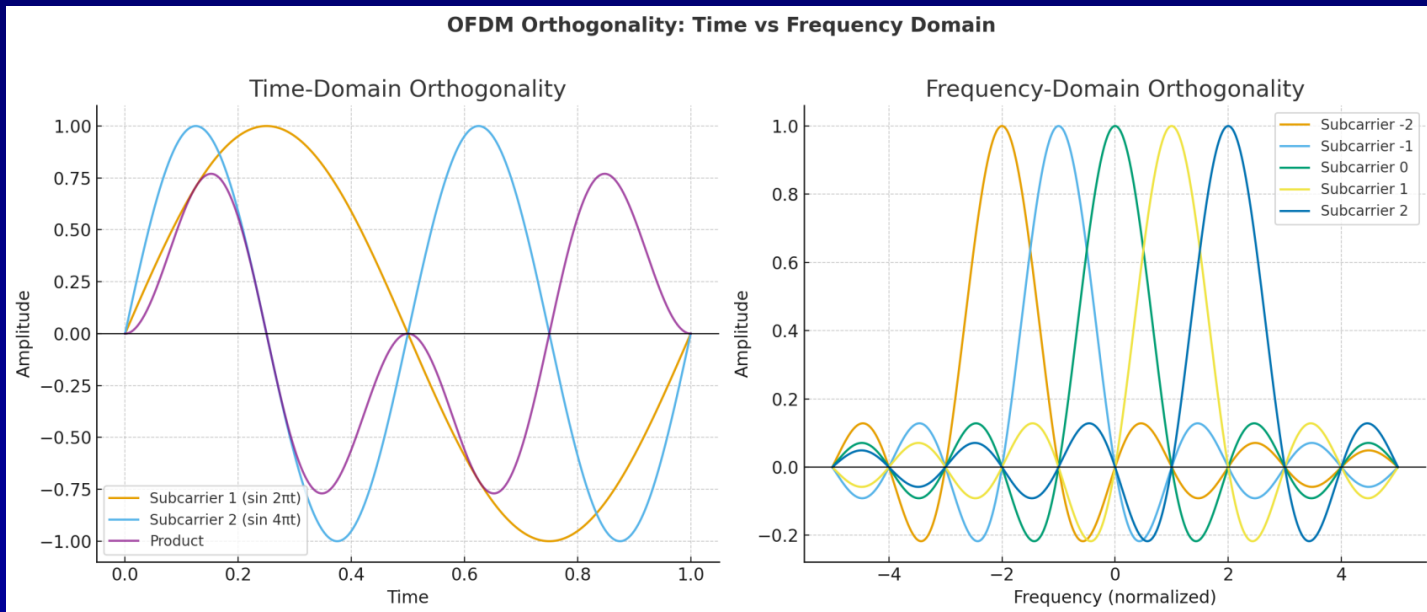
OFDM

- Principe
 - Diviser le canal en nombreuses sous-porteuses étroites.
 - Chaque sous-porteuse transporte une partie des données.
 - Les sous-porteuses sont orthogonales : elles se chevauchent mais ne s'interfèrent pas
- Résultat
 - débit élevé + robustesse.



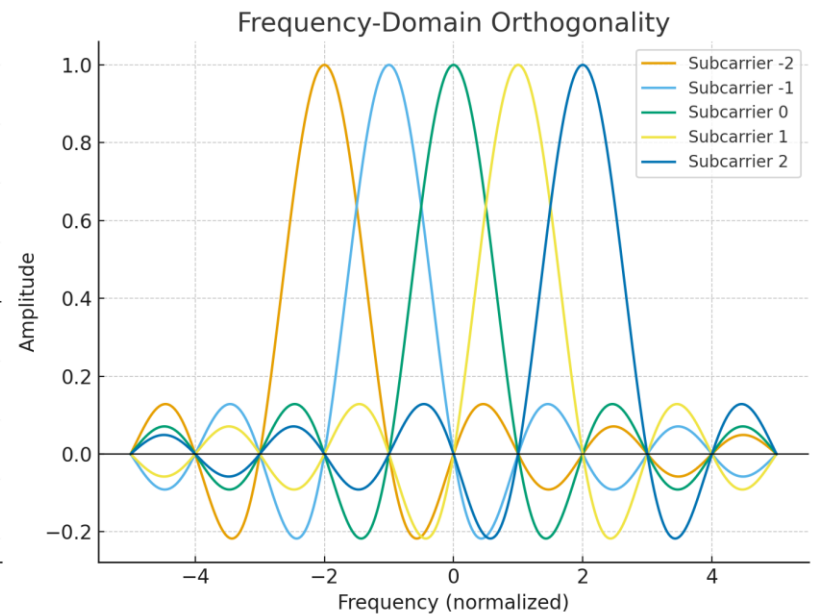
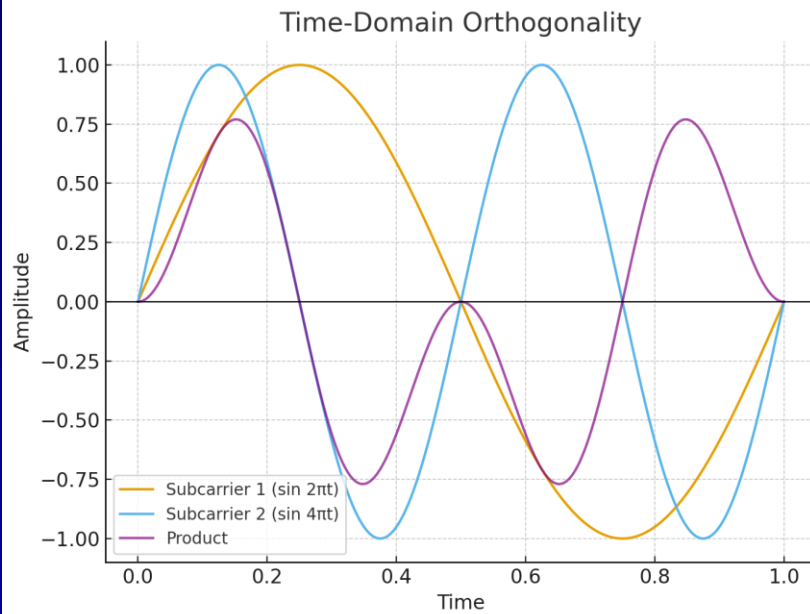
OFDM

- Intégral du produit de deux signaux est égale a zéro (orthogonal)

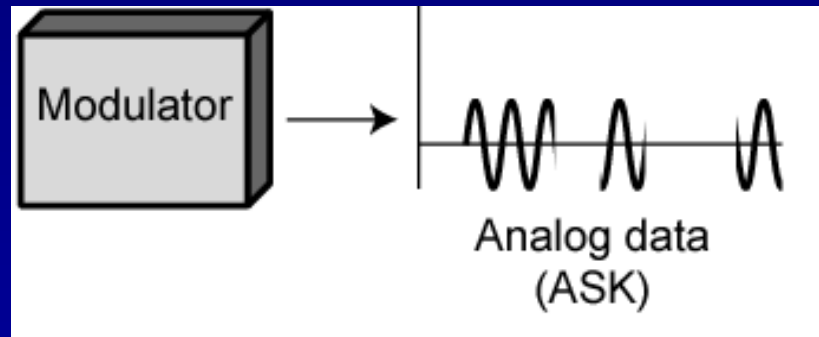
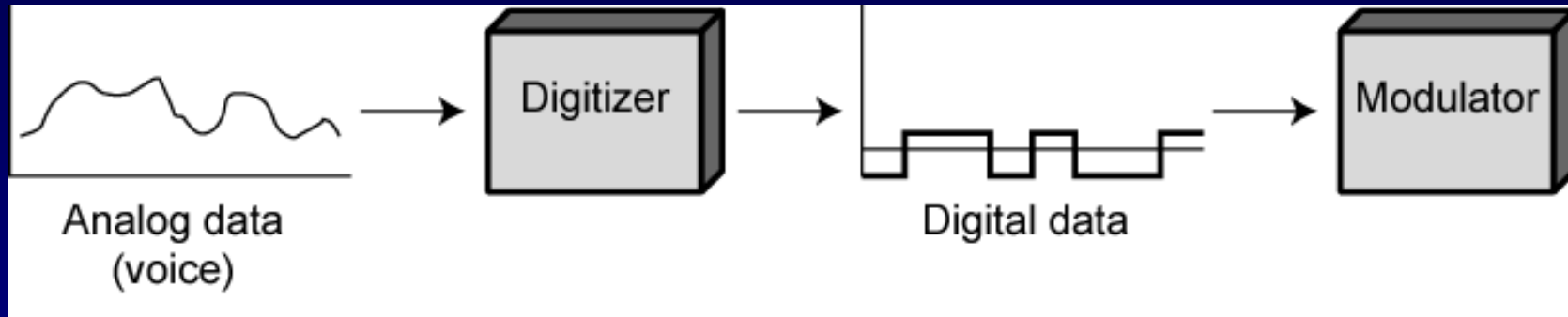


OFDM

OFDM Orthogonality: Time vs Frequency Domain



Encodage analogique - numérique

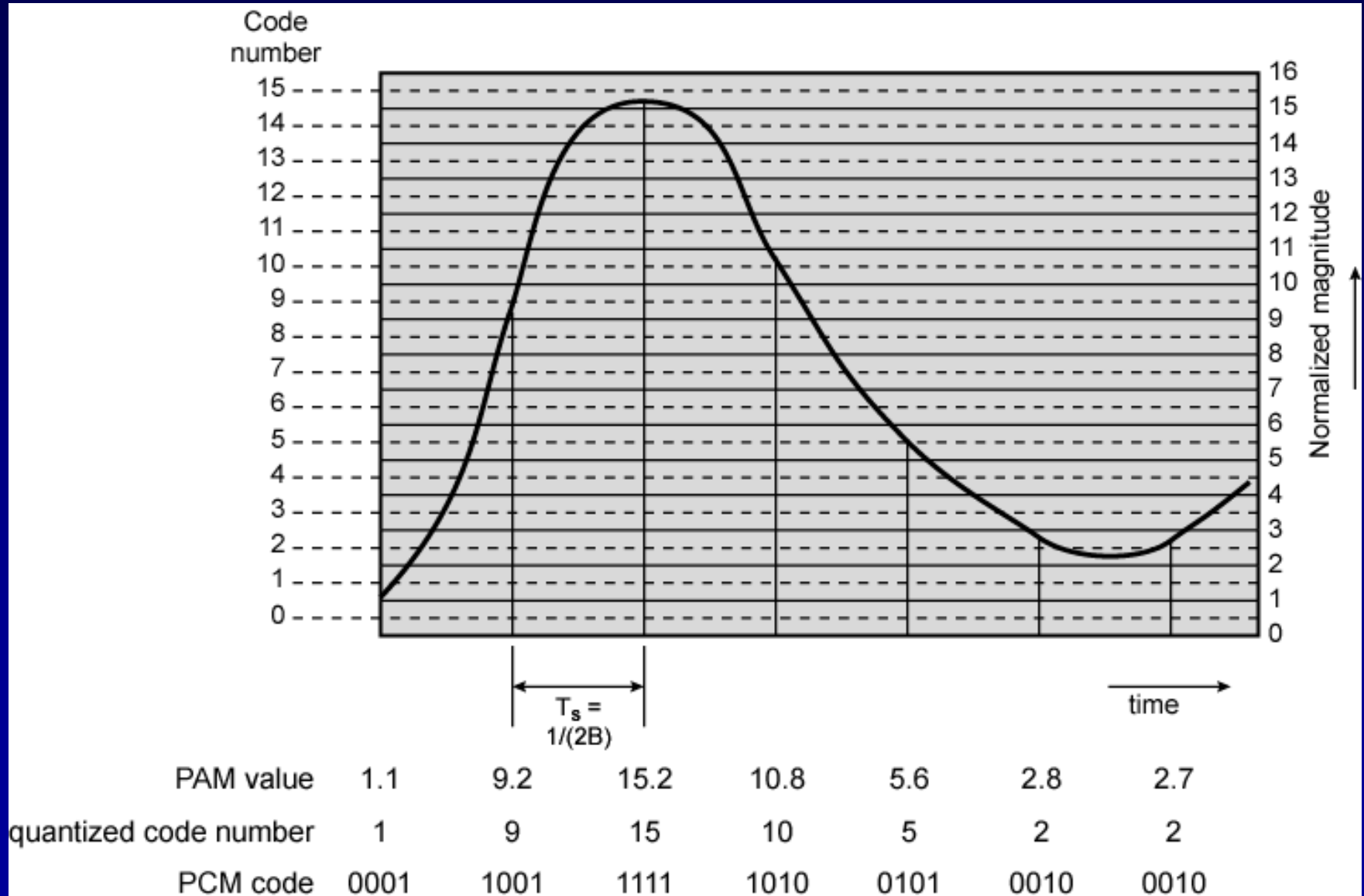


- Comment faire?

Échantillonnage de signaux

- PCM est utilisée pour l'échantillonnage de signaux
- Un échantillonnage d'un signal $s(t)$ décrit ce signal si
$$1/T \geq 2 \cdot F$$
 - T : durée d'échantillonnage (sec)
 - $1/T$: fréquence d'échantillonnage
 - F : fréquence (en Hertz) la plus haute du signal, la *bande passante* ou *largeur de bande*
- E.g. voix est limitée à 4000Hz; exigence: 8000 échantillons par second sont nécessaires pour pouvoir (~) reproduire la voix

PCM: Example



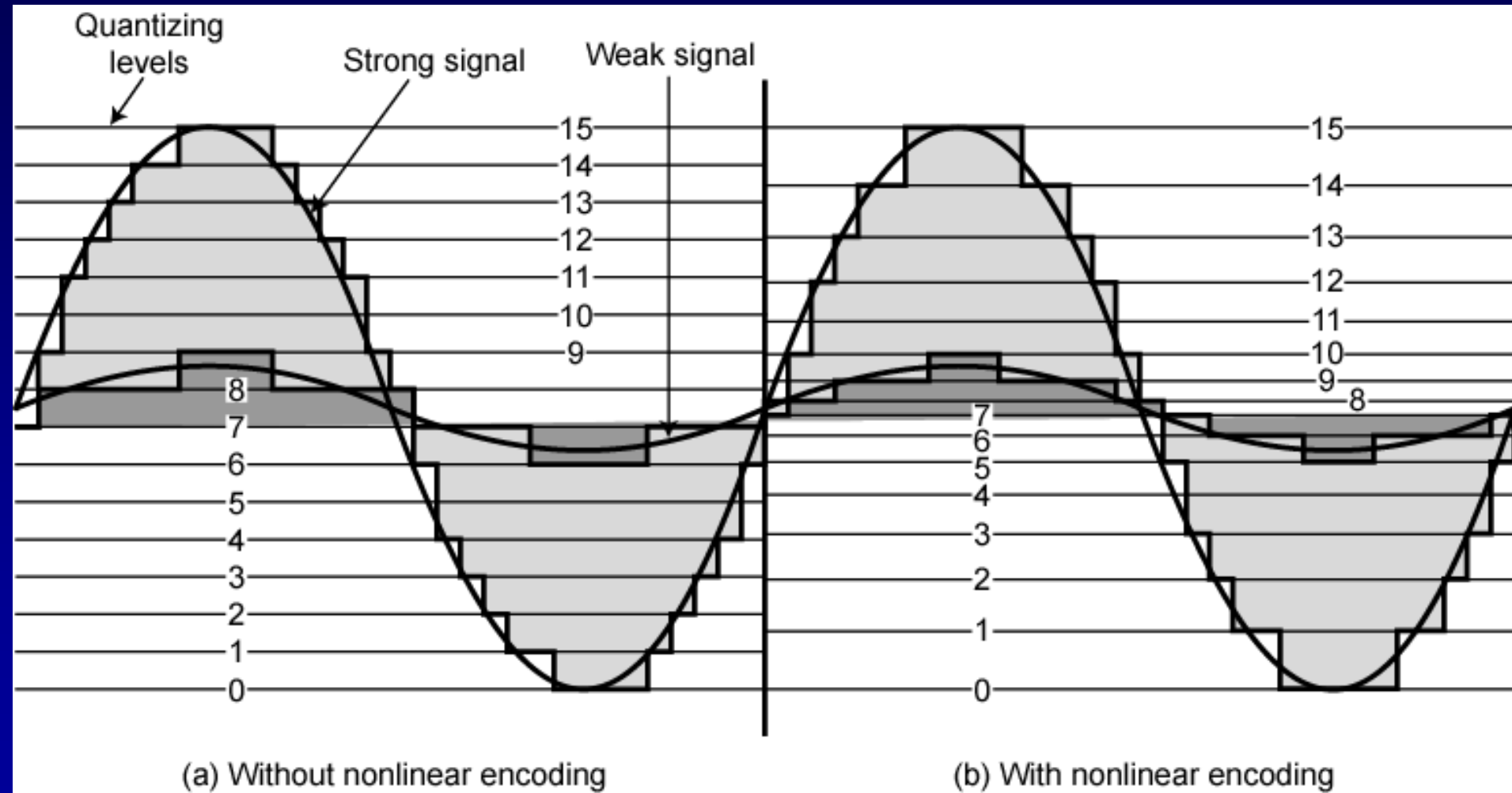
PCM: Exemple

- Combien de bits on doit utiliser par échantillon?

PCM: Exemple

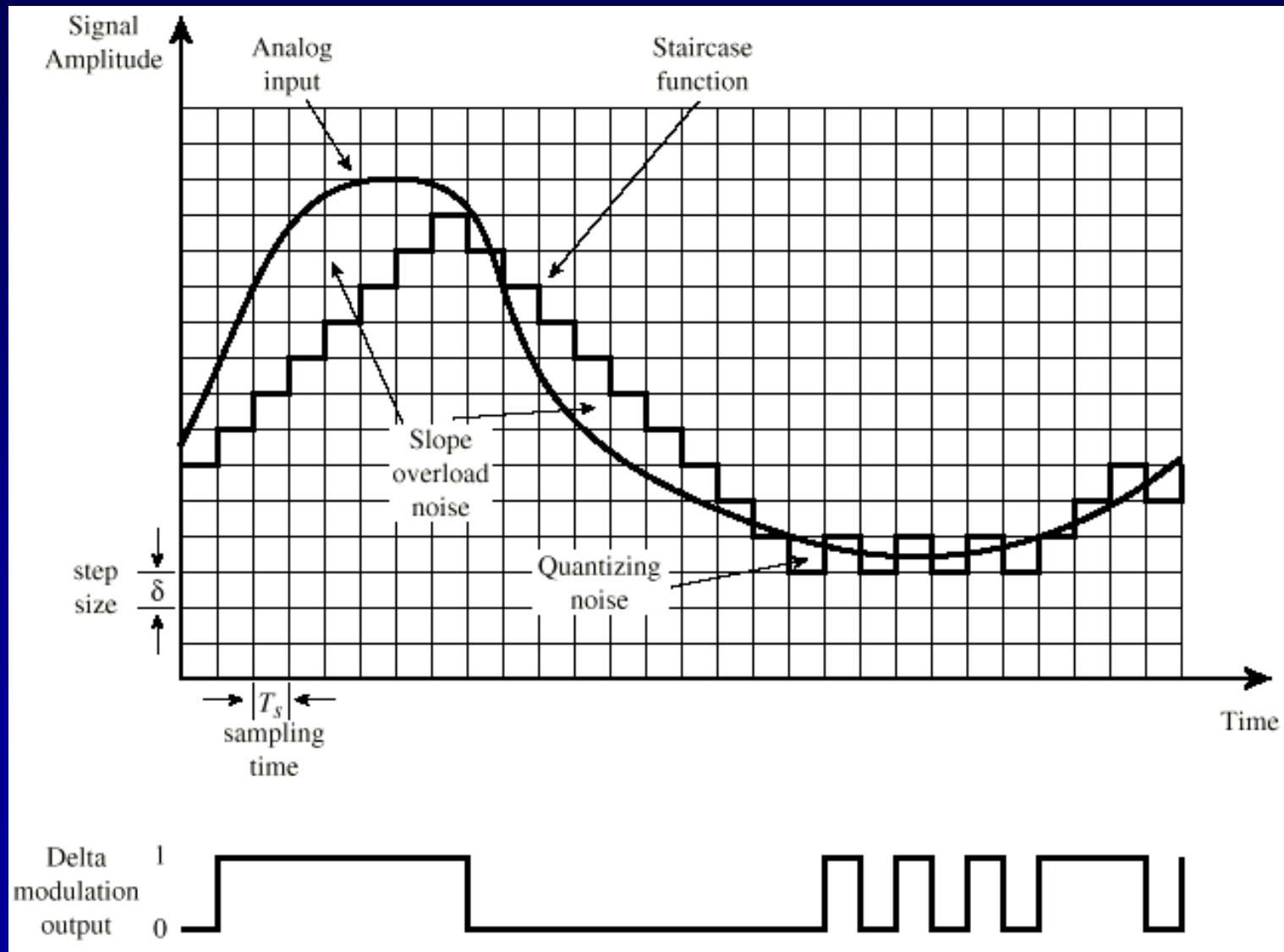
- Combien de bits on doit utiliser par échantillon?
 - Normalement entre 8 et 24
 - 8: Convient aux paroles de « mauvaise » qualité ou aux effets sonores simples
 - 16: Audio de qualité CD
 - 24: enregistrement et production audio professionnels.
 - On peut aller jusqu'au 32 bits

Encodage linéaire Vs. Encodage non-linéaire



Encodage plus simple?

Delta Modulation (DM): Example

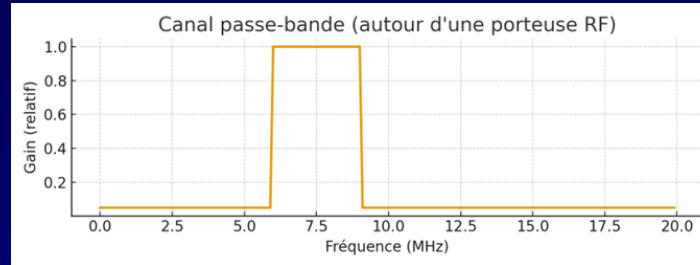


Encodage analogique - analogique

- Pourquoi moduler des signaux analogiques?

Encodage analogique - analogique

- Traduction fréquentielle : placer un signal baseband sur une porteuse RF adaptée au canal passe-bande.



- Multiplexage (FDM) : partager le support en assignant une fréquence par service.
 - P.ex., Réseaux téléphoniques
- Robustesse : choisir AM/FM/PM selon le bruit dominant et la chaîne RF.
- Contrainte matérielle & réglementaire : travailler dans des bandes autorisées avec filtres et amplis dédiés.
- Utilisée surtout: radio AM/FM et TV analogue,

Encodage analogique - analogique

- Types de modulation
 - Amplitude
 - Angle
 - Fréquence
 - Phase
- AM:
 - faible complexité.
 - très sensible au bruit d'amplitude et au fading (l'info est portée par l'amplitude → ce que le bruit attaque en premier).
 - gagne en efficacité de bande
- FM/PM
 - Plus complexe
 - Très robuste
 - coûteux en spectre.

Modulation Analogique

$$m(t) = m_i * x(t)$$

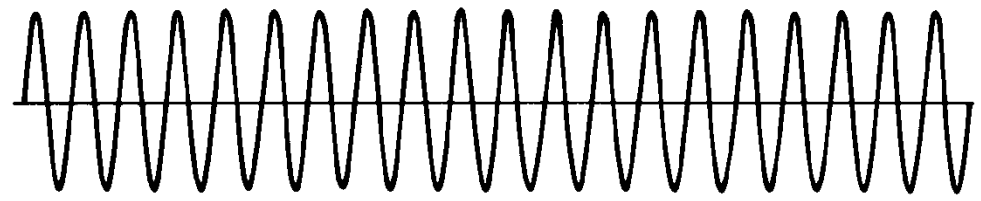
Mi: modulation index
(amplitude du signal /
amplitude de la porteuse)

$$\text{AM: } S(t) = (1 + m(t)) * \cos(2\pi f t)$$

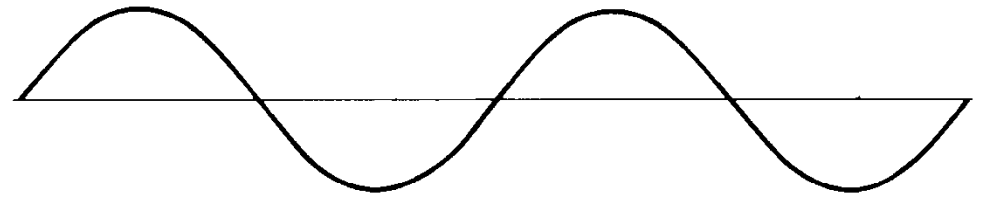
$$S(t) = A * \cos(2\pi f t + q(t))$$

$$\text{PM: } q(t) = p_{mi} * m(t)$$

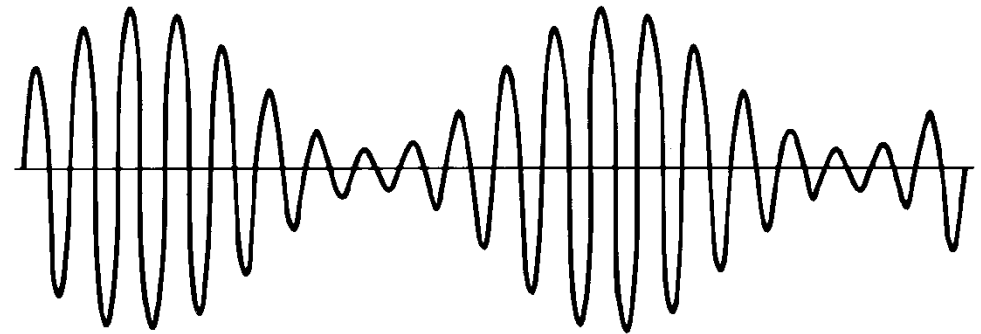
$$\text{FM: } q'(t) = f_{mi} * m(t)$$



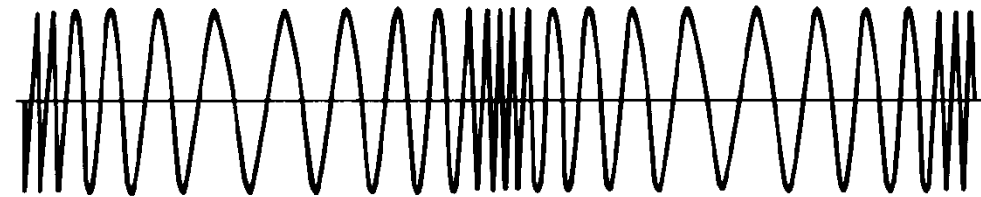
Carrier



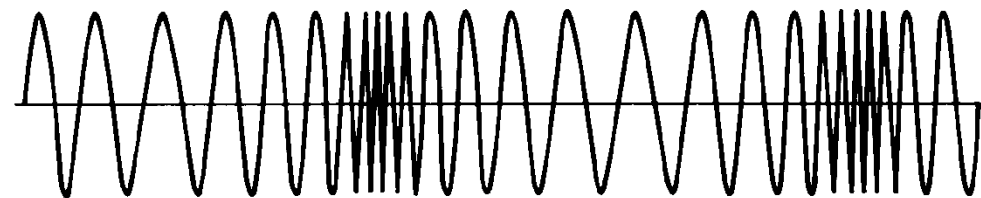
Modulating sine-wave signal



Amplitude-modulated (DSBTC) wave



Phase-modulated wave



Frequency-modulated wave

FM (1)

- Dans la transmission FM, la fréquence du signal porteur est modulée pour suivre le niveau d'amplitude changeant du signal de modulation.
 - En développant la série de fourrier du signal, on obtient des raies à $f_c \pm n f_m$; il existe des termes pour tous $n=0,1,2,\dots$
- La largeur de bande réelle est: $2 (1 + \beta) B$ où β est généralement égale à 4.
 - Montrée de façon empirique
- La bande passante d'un signal audio (parole et musique) diffusé en stéréo est de près de 15 kHz.

FM (2)

- C'est quoi la largeur de bande requise pour appliquer une modulation de fréquence au signal audio?

FM (3)

- 150 KHz
- La FCC autorise 200 kHz (0,2 MHz) pour chaque station FM
- Les stations FM sont autorisées à utiliser des fréquences porteuses comprises entre 88 et 108 MHz.

Synchronisation

- Problèmes de temps exigent un mécanisme pour synchroniser l'émetteur et le récepteur
- 2 solutions ?

Synchronisation

- 2 solutions
 - Asynchrone
 - Synchrone

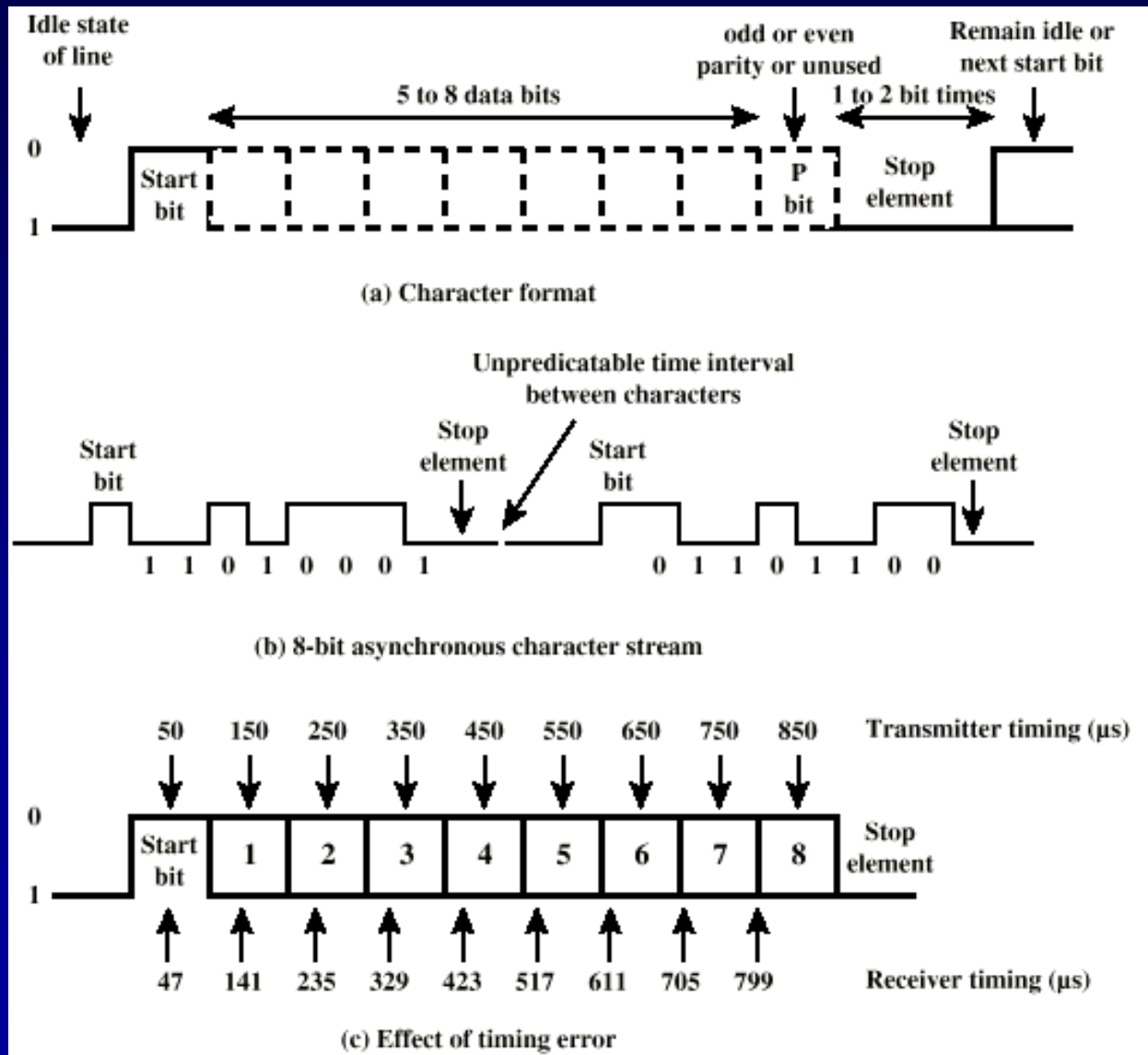
Transmission Asynchrone

- Transmettre un caractère à la fois
 - 5 to 8 bits
- Chaque caractère ou octet est traité indépendamment pour la synchronisation d'horloge (bit) et de caractère
- Le récepteur re-synchronise au début de chaque caractère reçu.
- Chaque caractère à transmettre est encapsulé entre des bits supplémentaires:
 - **start bit** (bit de départ) et **stop bit** (bit d'arrêt)
- Simple
- Pas coûteux
- Adéquate pour des données espacées (e.g. clavier)
- **Problème?**

Transmission Asynchrone: Problème

- Overhead de 2 à 3 bits par caractère (~20%)

Transmission Asynchrone (Cont.)



Transmission Synchrone

- L'émetteur et le récepteur doivent se synchroniser: le récepteur doit synchroniser son horloge avec les signaux entrants
 - un bloc entier est transmis comme une suite de bits et le récepteur doit suivre le flux des bits entrant pendant la durée entière de la transmission d'une trame.
- Pour permettre au récepteur de se synchroniser, l'information d'horloge est embarquée dans la suite des bits transmise.
- On peut aussi utiliser une ligne séparée d'horloge
 - Pour des distances courtes
- Les méthodes ou codages principaux sont:
 - Codage bipolaire
 - Codage biphase Manchester
 - Codage Manchester différentiel
- Plus efficace que la transmission asynchrone en terme de overhead

Question

- Soit un canal parfait qui a une largeur de bande (*bande passante*) de ~ 3000 Hz.
 - Si on utilise une modulation de phase (4 valeurs) combiné avec une modulation d'amplitude (2 valeurs), calculer le temps nécessaire pour transmettre un caractère de 8 bits.
 - Calculer la rapidité de modulation dans ce cas

Question

- Énumérer les critères principaux (au moins 2) qui sont utilisés pour comparer les différents types d'encodage numérique
- Comparer brièvement NRZ et biphase.
- Encoder la suite de bits 10001001 en utilisant NRZ et bipolaire.