

Protocoles & Réseaux

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission



Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Définition

La couche physique fournit les moyens mécaniques, électriques fonctionnels et procéduraux nécessaires à l'activation, au maintien, et à la désactivation des connexions physiques destinées à la transmission de bits entre deux entités de liaison de données.

Objectifs du niveau physique

- Transmission effective des informations binaires sur une voie physique en s'adaptant aux contraintes du support physique utilisé.

Problèmes à résoudre

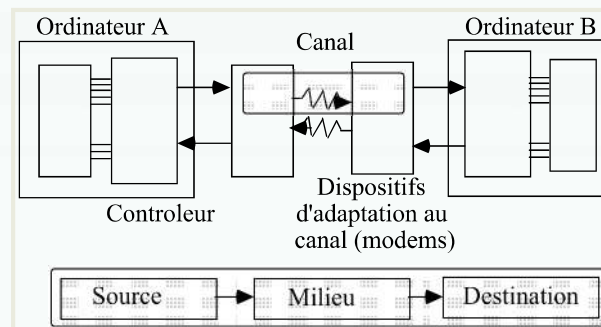
- synchronisation et modulation, électronique, optique, mécanique



Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Transmission sur un canal

La transmission d'une information nécessite un support physique pour véhiculer les signaux électromagnétiques



Le système de transmission comporte

- une source : dispositif d'adaptation en émission;
- une destination : dispositif d'adaptation en réception.

Un canal de transmission est par définition unidirectionnel

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Problème au niveau physique

Quel débit d'information peut-être transmis par un canal de transmission en fonction des caractéristiques de ce canal?

Contraintes

Bande Passante : Bande des fréquences transmises par le canal.

Déformation du signal : Apportée par les imperfections de la transmission.

Bruit : Influences externes provoquées dans le canal par le milieu extérieur.

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Transmission en bande limitée

Capacité de transmission d'un canal en fonction de la bande de fréquence disponible

Le canal est sans bruit.

La bande de fréquence est limitée à une valeur B.

Outil : Analyse de Fourier

Objectif

Introduire l'importance de la disponibilité d'une large bande passante.



DE

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Annexes -

Cas d'une fonction g(t) périodique

⇒ une présentation mathématique simplifiée.

$$g(t) = c_0 + \sum_{n=1}^{+\infty} c_n \cos (2\pi n f t - \varphi_n)$$

- f **fréquence** du signal périodique. $f = 1/T$
- nf **harmonique** du signal
- Chaque terme est caractérisé par c_n et φ_n



DE

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Annexes -

Fonction $g(t)$ périodique : Représentation équivalente

$$g(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{+\infty} a_n \sin(2\pi n f t) + \sum_{n=1}^{+\infty} b_n \cos(2\pi n f t)$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T g(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(2\pi n f t) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\pi n f t) dt$$

$$\int_0^T \sin(2\pi k f t) \sin(2\pi n f t) dt = \begin{cases} 0 & \text{si } k \neq n \\ T/2 & \text{si } k = n \end{cases}$$



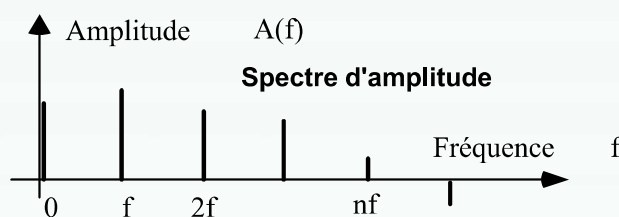
DE

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Annexes -

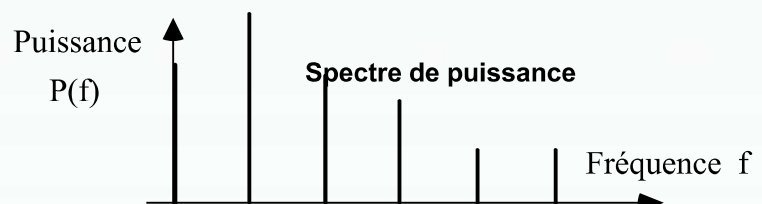
Représentation spectrale

Représentation des amplitudes c_n en fonction des fréquences.



**Fonction périodique
⇒ spectre de raies**

**Puissances contenues dans
les différentes harmoniques.**



Puissance moyenne d'un signal

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T g(t)^2 dt = \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{1}{2} (a_n^2 + b_n^2)$$



DE

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

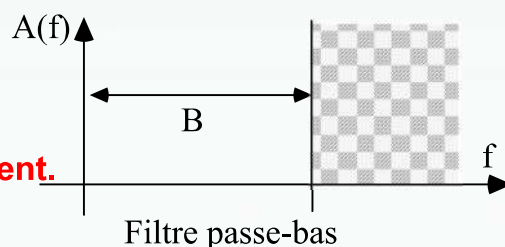
Annexes -

Application de cette représentation

Le signal transmis est déformé de manière différente selon les fréquences.

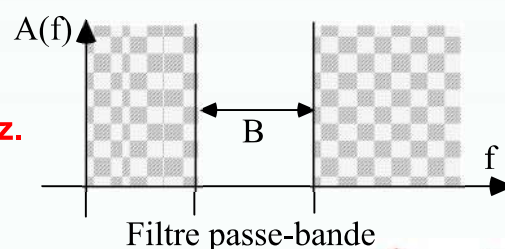
⇒ Impossibilité de transmettre toutes les fréquences !

Les fréquences trop élevées disparaissent.



Filtre passe-bas

Ex : Bande Passante RTC 300 à 3400 Hz.



Filtre passe-bande

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Rappels - Nyquist - Shannon

W : Bande passante d'un filtre en **Hz** au travers duquel on transmet un signal

R : La rapidité de modulation en "**bauds**" Le nombre d'intervalles élémentaires par unité de temps (secondes) qui permettent l'échange d'informations.

V : La valence d'un signal échantillonné: le nombre de niveaux différents qui peuvent être distingués par intervalle.

Q : La quantité d'information par intervalle $Q = \log_2 V$ en "**bits**"

$$C = R \log_2 V = 2W \log_2 V$$

Pour un signal à support de largeur de bande W il ne sert à rien d'échantillonner plus de $R = 2W$ fois par unité de temps.

Améliorer le débit ⇒ Augmenter V.
Limite : la Physique !

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Transmission sur un canal en présence de bruit

Théorie de l'information (Shannon)

Objectif de l'étude : Modéliser un canal de transmission soumis à un bruit additif.

Déterminer la capacité maximum de transmission d'un tel canal

Origine des bruits :

Thermiques : bruit de fond des résistances

Diaphoniques : Influence permanente d'un conducteur sur un autre

Impulsionnels : Influences transitoires des impulsions

Harmoniques : Phénomènes de battements de réflexion.



DE

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Entropie d'une source - Hypothèses

- Une source émet un message par unité de temps.
- La source sélectionne des messages (symboles) dans un alphabet donné fini. $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_k, \dots, x_M\}$
- Les messages émis sont aléatoires sinon il n'y a pas de communication d'information.

Ensemble des probabilités à priori $p(x_1), p(x_2), p(x_3), \dots, p(x_M)$.

Entropie d'une source H : Quantité d'information moyenne apportée par la source.

$-\log_2 p(x_i)$: Quantité d'information apportée par le message x_i

- Quantité moyenne : Espérance mathématique pour tous les messages possibles

$$H = - \sum_{i=1}^M p(x_i) \log_2 p(x_i)$$



Application



DE

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Résultat particulier de Shannon

- Canal de bande passante limitée W
- Puissance moyenne du signal S
- Puissance moyenne d'un bruit additif N .
 - ✓ Bruit blanc (énergie répartie uniformément dans le spectre).
 - ✓ Gaussien (l'apparition d'un bruit suit une loi de gauss)

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

Pour $W = 3100$ Hz et $10 \log_{10} S/N = 20$ db $\Rightarrow S/N = 100$ et $C = 3100 * 6,6 = 20600$ b/s
 Dans ce cas, Shannon montre que le nombre de niveaux max discriminés est

$$2W \log_2 V = W \log_2 (1 + S/N)$$

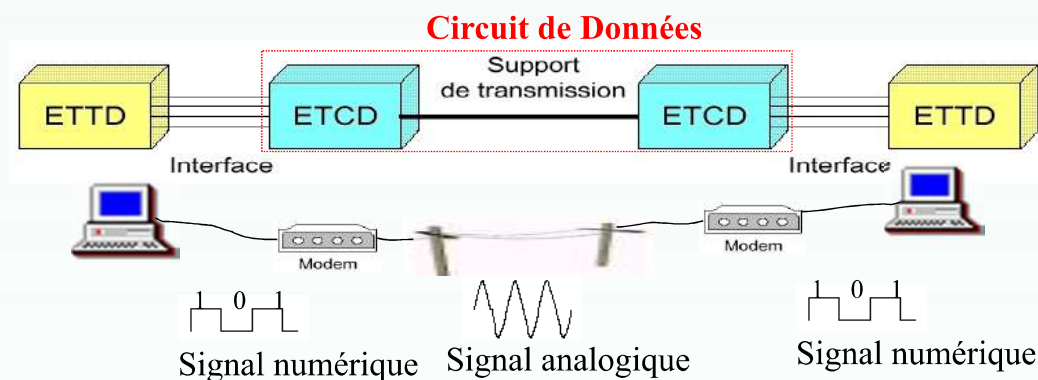
$$\Rightarrow V = \sqrt{1 + \frac{S}{N}}$$

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Principaux éléments intervenant dans la transmission

ETCD (Équipement Terminal de Communication de Données) :
 équipement spécifique chargé d'adapter les données à transmettre au support de communication

ETTD (Équipement Terminal de Traitement de Données) :

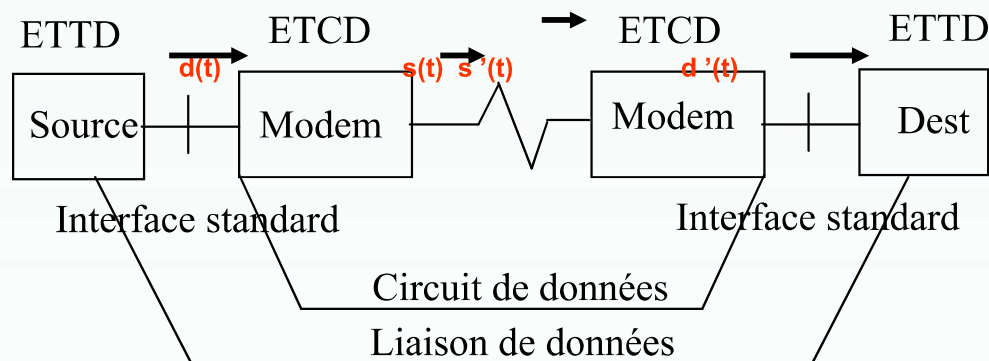


Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Principaux éléments intervenant dans la transmission

ETCD (Équipement Terminal de Communication de Données) :
équipement spécifique chargé d'adapter les données à
transmettre au support de communication

ETTD (Équipement Terminal de Traitement de Données)



Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Annexes -

Fonction de l'ETCD

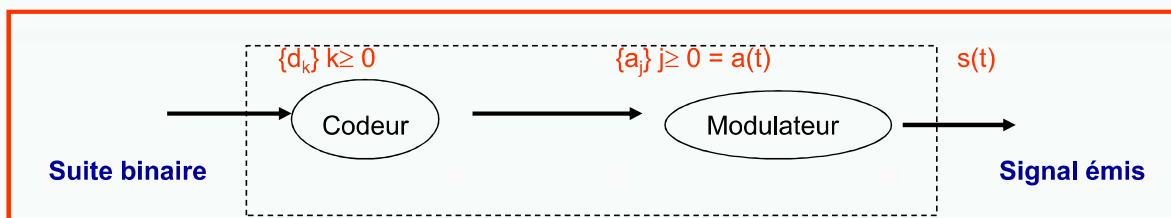
Deux transformations fondamentales :

Le codage : bits $\rightarrow$ symboles **La modulation** : symboles $\rightarrow$ signal

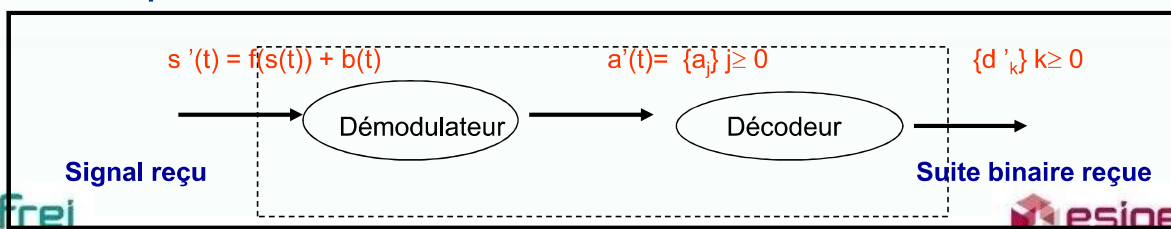
Les symboles peuvent être une fonction continue ou discrète

La transformation appliquée peut être + ou - complexe

A l'émission



A la réception



Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Annexes -

Modulation : principe général

Le modulateur transforme un signal initial quelconque $a(t)$ en un signal $s(t)$ adapté au support de communication utilisé.

Signal de base $s(t)$; Porteuse sinusoïdale

$$P(t) = A_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

Modulation d'onde porteuse

Transformation de $s(t) \rightarrow X(t) = f(s(t))$ en introduisant l'information du signal dans l'une des composantes

Amplitude

Fréquence

Phase



DE

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

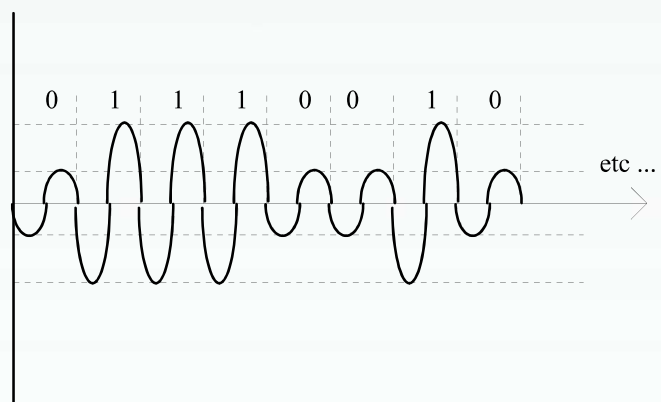
Annexes -

Modulation d'amplitude

$$X(t) = f(s(t)) = A(s(t)) \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

Utilisation de deux amplitudes

Numérique	Analogique
0	Amplitude A1 
1	Amplitude A2 



DE

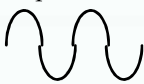
Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

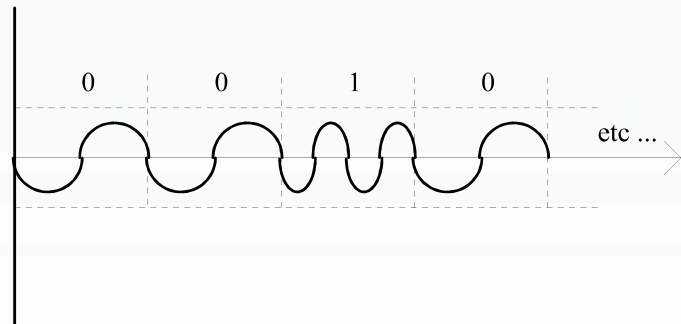
Annexes -

Modulation de fréquence

$$X(t) = A_0 \sin(\omega(s(t))t + \varphi_0)$$

Utilisation de deux fréquences

Numérique	Analogique
0	Fréquence f1 
1	Fréquence f2 



Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

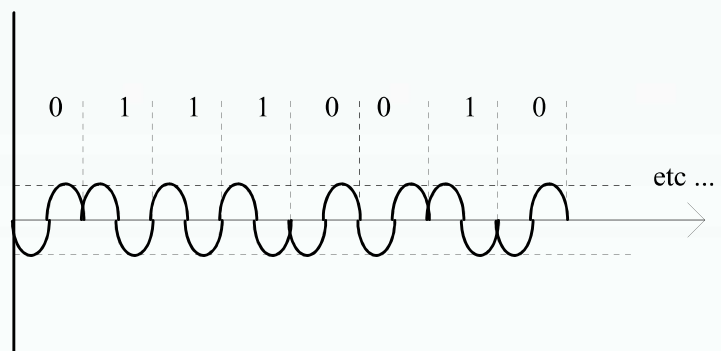
Annexes -

Modulation de phase

$$X(t) = A_0 \sin(\omega_0 t + \varphi(s(t)))$$

Utilisation de deux phases

Numérique	Analogique
0	Phase 1 
1	Phase 2 



Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Annexes -

Modulation complexe

En combinant ces méthodes, le débit d'information est alors amélioré.

- Modulation d'amplitude et modulation de phase.
- Plusieurs niveaux d'amplitude, de fréquence ou de phase.

Modulation de phase et d'amplitude

Codage MAQ	A_0	A_1
φ_0	00	01
φ_1	10	11

Modulation en quadrature



Par la suite, on s'intéressera à une transmission en série



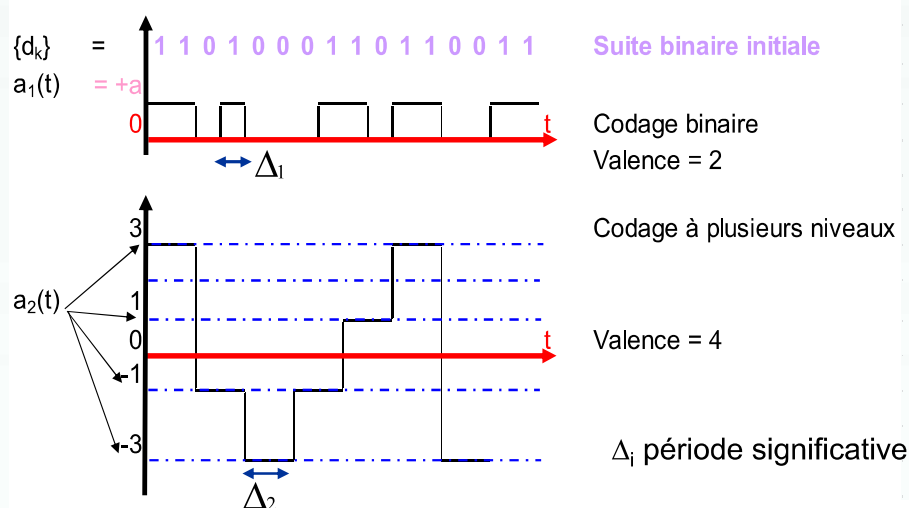
DE

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Transmission en bande de base

Le signal est dans une représentation numérique en fonction du temps.

- La plage de fréquences utilisée par le signal issu de la suite codée est identique à celle de la suite initiale.
- Le modulateur module à partir d'une fonction rectangulaire $\{a_k\}$ $k \geq 0 \rightarrow a(t)$.



Le spectre reste centré



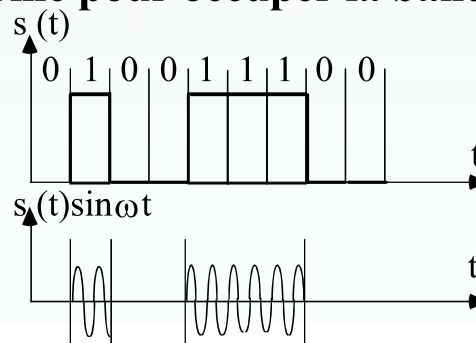
DE

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Transmission en modulation d'onde porteuse

Le signal est représenté au moyen d'une onde porteuse qui modifie le codage de base pour s'adapter au canal de transmission.

- Positionnement dans le spectre utile
- Remise en forme pour occuper la bande disponible



Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Définitions : Débit binaire et rapidité de modulation

Le débit binaire **D** d'une voie de données est le nombre de bits d_i transmis par seconde sur cette voie.

$$D = \frac{1}{T} \text{ bits / s}$$

La rapidité de modulation **R** (en bauds) mesure le nombre de maximum de symboles (éléments de modulation émis en bande de base) transmis par seconde.

$$R = \frac{1}{\Delta} \text{ bauds}$$

Généralement $\frac{1}{\Delta}$ est un multiple de $\frac{1}{T}$

$$D = \frac{1}{T} = \frac{\log_2(V)}{\Delta} = R \log_2(V) \text{ bits / s}$$

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Qualités d'un code

Largeur de la plage de fréquences : **la plus étroite possible.**

Répartition fréquentielle de la puissance : **peu de puissance aux faibles fréquences, aucune à la fréquence nulle.**

Codage de l'horloge : **fréquence minimale des transitions**

Résistance aux bruits: **espacement des niveaux**

Complexité du codage: **coût et vitesse du codage**

Équilibrage des symboles



DE

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Annexes - Technique de codage en bande de base

Codes à deux niveaux :

- NRZ** (Non Return to Zero)
- NRZI** (Non Return to Zero Invert)
- biphase**
- biphase différentiel**
- Miller**

Codes à trois niveaux :

- RZ** (Return to Zero)
- bipolaire** (simple)
- bipolaire entrelacé d'ordre 2**
- bipolaires à haute densité d'ordre n** (BHDn)



DE

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Annexes -

Code NRZ (Non Return to Zero)

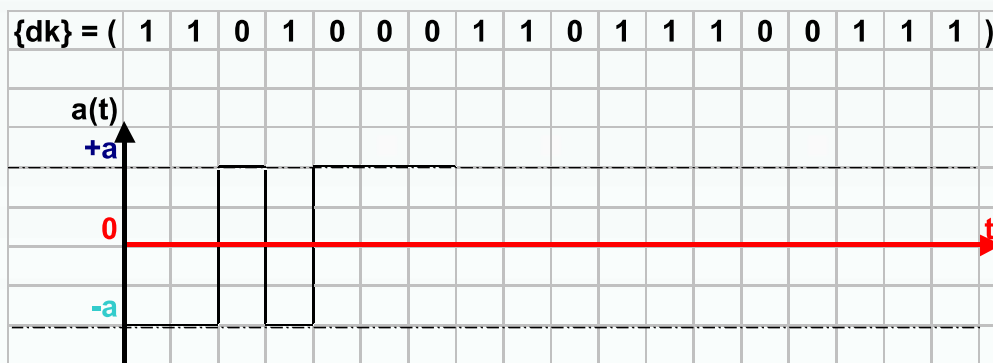
Résolution du problème d'absence de signal sur le câble,

Le bit 1 est codé +a et le bit 0 par un signal opposé.

Exemple :

Suite binaire initiale

Codage NRZ



Code simple utilisé entre l'ordinateur et ses périphériques



DE

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Exemple : Code NRZI (Non Return to Zero Inverted)

Annexes -

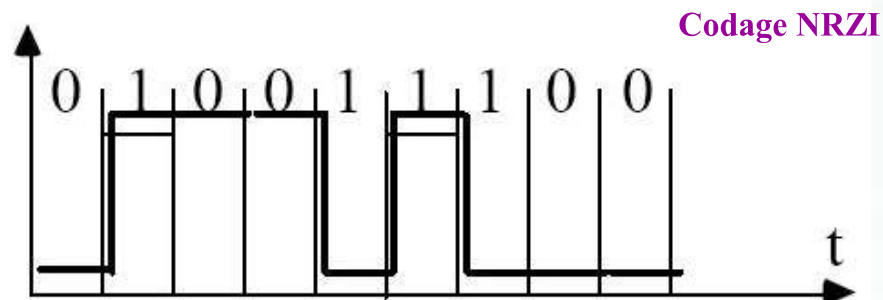
Codage différentiel des 1

NRZI ("Inverted").

Un nouveau 1 entraîne un changement de polarité par rapport au précédent 1

0 n'entraîne pas de modification

Exemple :



Code binaire, indépendant de la polarité, adapté à la transmission photonique FDDI.



DE

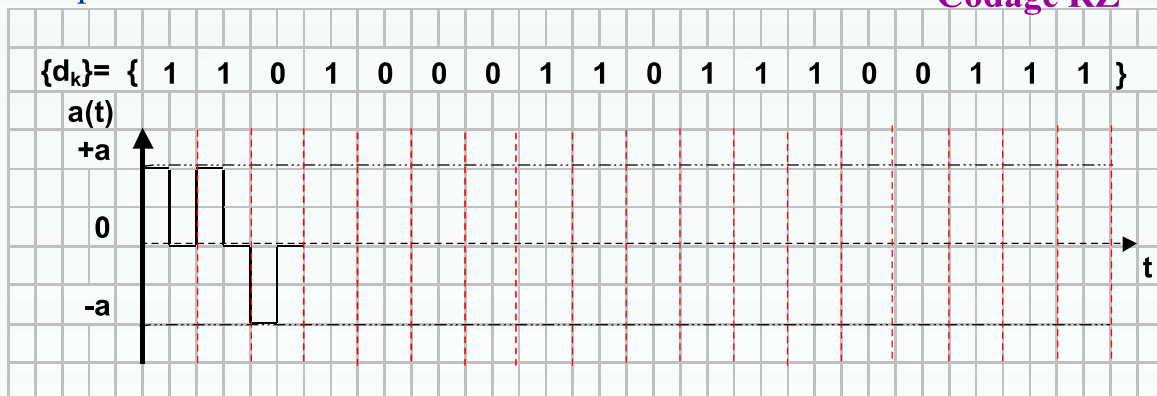
Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Annexes -

Code RZ (Return to Zero)

Exemple :

Codage RZ



Code binaire simple limite les interférences entre symboles.



DE

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Annexes -

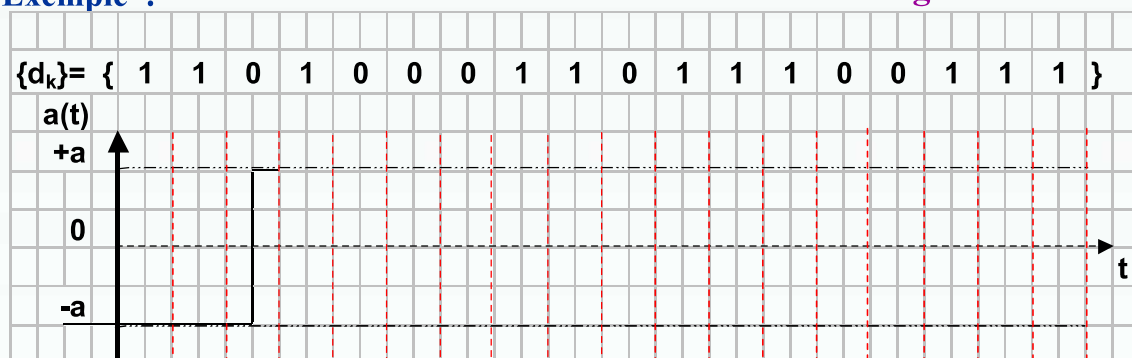
Code NRZI (Non Return to Zero Inverted)

Similaire au code NRZ,

mais inversion des tensions associées aux valeurs binaires !

Exemple :

Codage NRZI



Code binaire, indépendant de la polarité, adapté à la transmission photonique.



DE

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Annexes -

Code de Miller

$$(d_k = 0) \Leftrightarrow (a_k = \lfloor \alpha_k, \beta_k \rfloor) / ((\alpha_k \neq \beta_k)) \wedge ((\alpha_k \neq \alpha_{k-1}))$$

$$(d_k = 1) \Leftrightarrow (a_k = \lceil \alpha_k, \beta_k \rceil) / ((\alpha_k \neq \beta_k)) \wedge ((\alpha_k = \beta_{k-1}))$$

Exemple : $\alpha_k \in \{a, -a\}$



Codage de Miller

Code binaire dense, conservation de l'horloge et indépendance de la polarité.



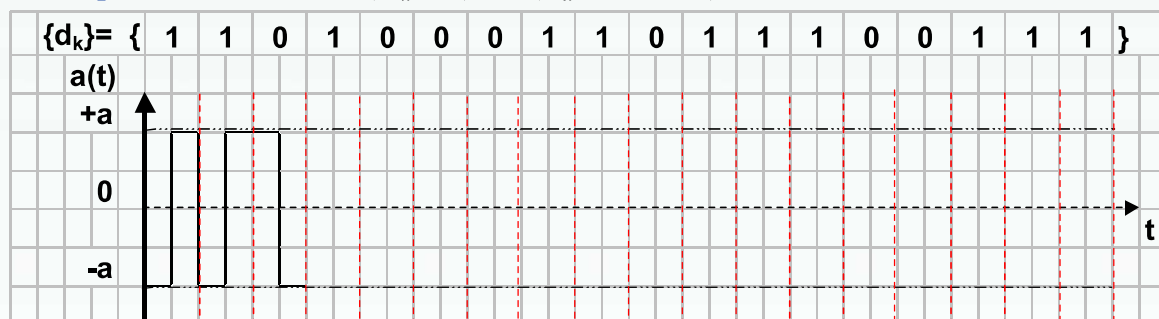
DE

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Annexes - Code Biphase (Manchester, biphase_L(evel))

$$(d_k = 0) \Leftrightarrow (a_k = [a, -a])$$

Exemple : $(d_k = 1) \Leftrightarrow (a_k = [-a, a])$



Codage biphase

Code binaire, équilibré, conservation de l'horloge, nécessite une bande passante très large.
Détection d'erreur sur l'absence d'une transition prévisible.

Exemple : Ethernet



DE

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Annexes -

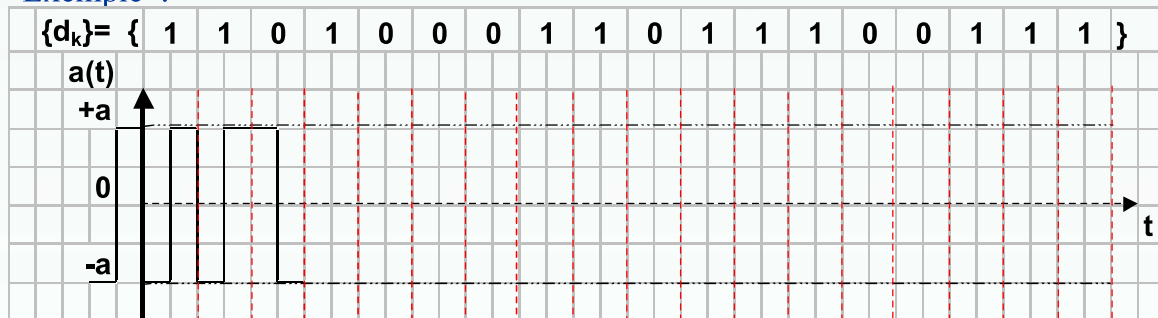
Code Biphasé différentiel (Manchester différentiel)

$$(d_k = 0) \Leftrightarrow (a_k = \lfloor \alpha_k, \beta_k \rfloor) / ((\alpha_k \neq \beta_k)) \wedge ((\alpha_k \neq \alpha_{k-1}))$$

$$(d_k = 1) \Leftrightarrow (a_k = \lfloor \alpha_k, \beta_k \rfloor) / ((\alpha_k \neq \beta_k)) \wedge ((\alpha_k = \alpha_{k-1}))$$

$$\alpha_k \in \{a, -a\}$$

Exemple :



Codage biphasé différentiel

Même propriété que Manchester + indépendance de la polarité.



Boucle IBM IEEE 802.5



DE

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Annexes -

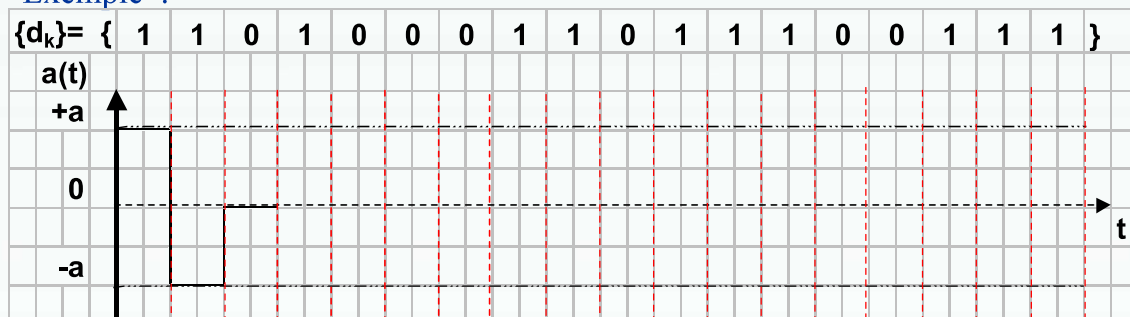
Code Bipolaire simple (AMI : Alternate Mark Inversion)

$$(d_k = 0) \Leftrightarrow (\alpha_k = 0)$$

$$(d_k = 1) \in d_m^1 \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} (a_k = \lfloor a \rfloor) / m = 2l + 1 \\ (a_k = \lfloor a \rfloor) / m = 2l \end{array} \right\}, (l \in N)$$

Codage Bipolaire

Exemple :



Code ternaire, équilibré, indépendant de la polarité

RNIS Bus d'abonné

Code Bipolaire entrelacé d'ordre 2

Construction de deux sous-suites (pairs et impairs) à partir de la sous-suite des bits à 1
Chaque sous-suite est indépendamment codée en alternance.



Spectre très étroit, code complexe ne résout pas le problème liés aux longues suites de 0.



DE

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Techniques d'embrouillage ("Scrambling")

Annexes -

Problème des codages NRZ ou AMI :

Absence de transitions dans certaines longues séquences de symboles identiques.

⇒ Utiliser une méthode pour forcer l'apparition de transitions dans ces séquences.

Embrouillage par utilisation d'un code polynomial

Technique employée

Ou exclusif avec une séquence pseudo aléatoire générée par un polynôme

La séquence pseudo-aléatoire comporte des 0 et des 1 uniformément distribués.

⇒ ils apparaissent dans le message transmis.

Même type d'opération à l'arrivée.

Exemple : ATM (cellules) Asynchronous Transfer Mode

$$X^{31} + X^{28} + 1$$



DE

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Code Bipolaire Densité d'ordre n (BHD n)

Annexes -

Basée sur la violation de l'alternance : bit de viol (noté V)

Soit une suite de n+1 bits à 0 : [000...00]

(a) Une suite de n zéros suivis d'un bit de viol : → [000...0V]

(b) Une suite formée d'un bit de bourrage (noté B), n-1 zéros, suivis d'un bit de viol; les bits B et V ayant même polarité : → [B00...0V]

Pour assurer l'équilibrage :

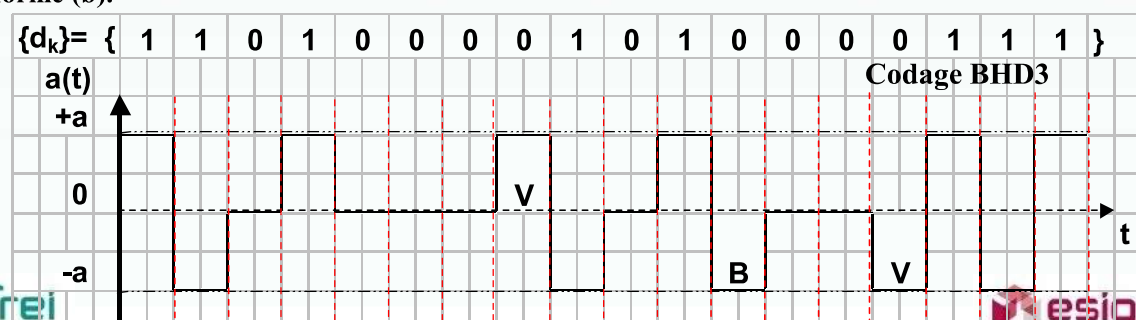
si le nombre de bits à 1 suivant le dernier bit de viol est impair

alors utiliser la forme (a)

sinon la forme (b).

Le premier bit est implicitement et conventionnellement précédé d'un bit de viol

Dans une longue suite de zéros tous les blocs successifs (sauf parfois le premier) sont codés dans la forme (b).



DE

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Annexes -

Codage par blocs nB/mB

On représente n bits usagers sur m bits transmis avec $n < m$.
On peut ainsi choisir des configurations qui présentent toujours un nombre suffisant de transitions.

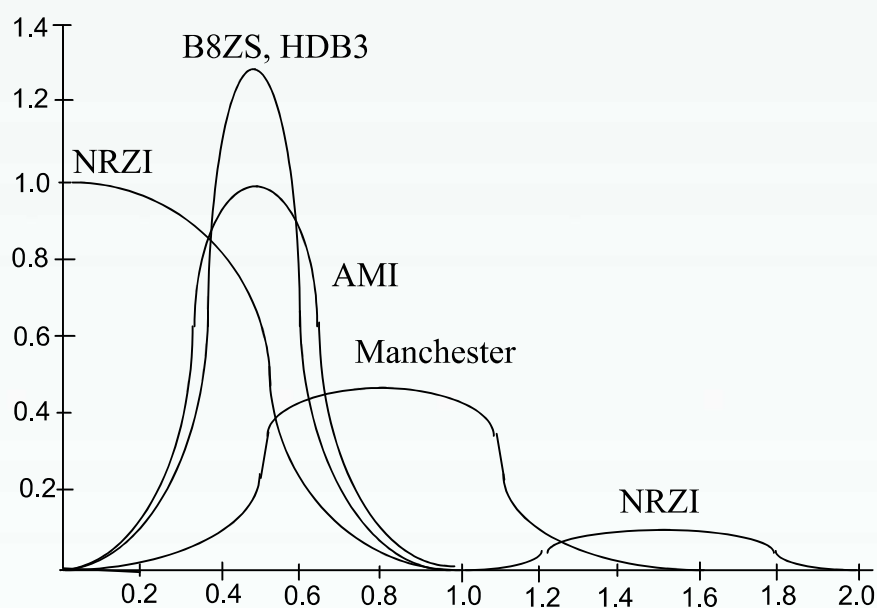
Ex: Réseau FDDI (Fiber Distributed Data Interface)

codage 4B/5B. (4 bits usagers sur 5 transmis).

Chapitre 2 : Niveau physique - Techniques de transmission

Annexes -

Comparaison des différentes techniques



Puissance par unité de bande passante en fonction de la fréquence normalisée.