

Traitements du signal & Techniques de transmission

UE LU3IN033 Réseaux

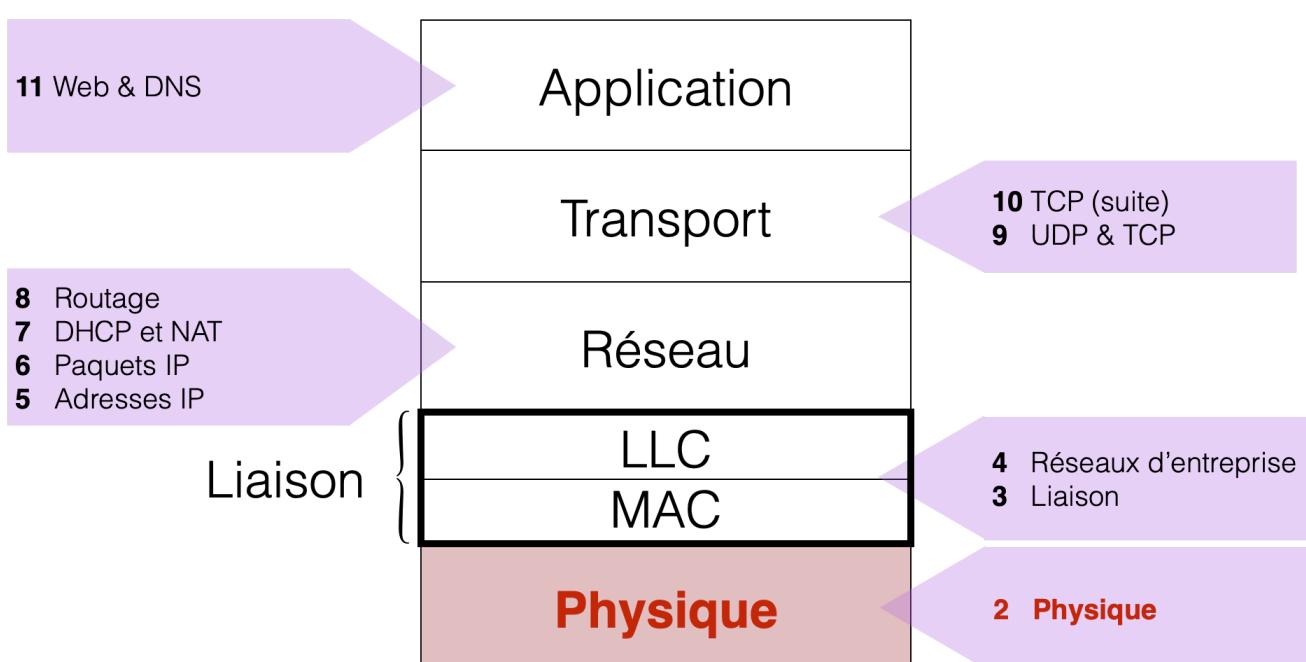
2021-2022

Prométhée Spathis

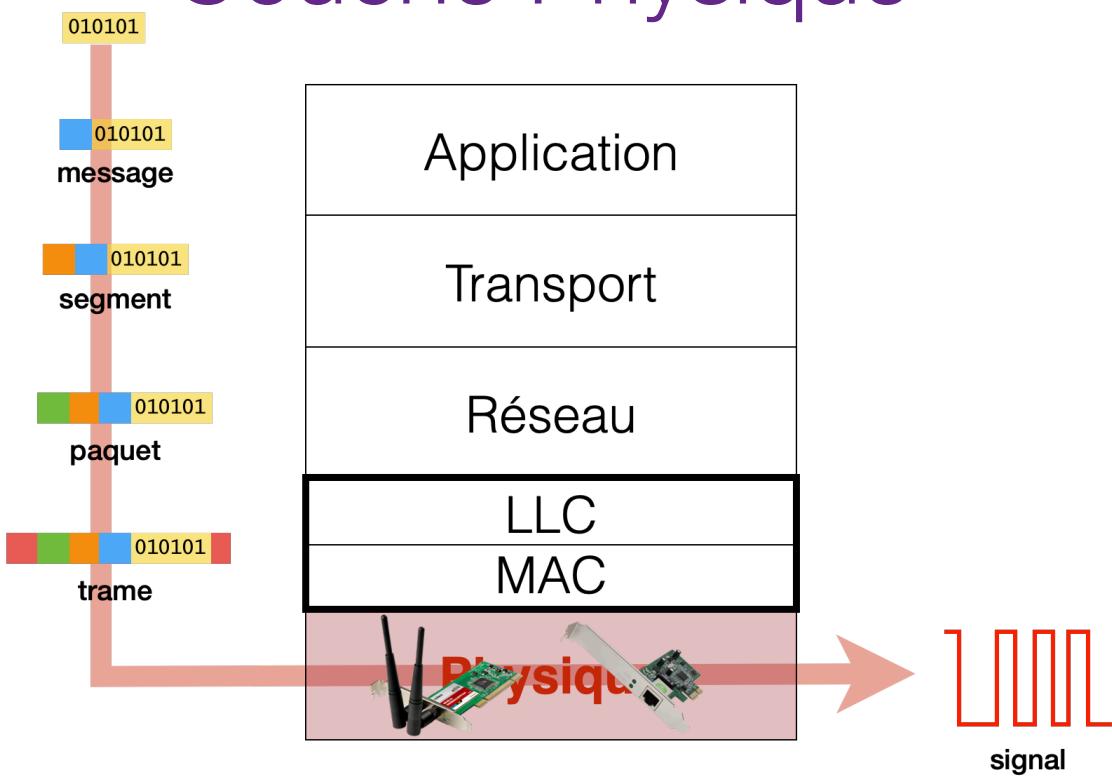
promethee.spathis@sorbonne-universite.fr



Programme de l'UE LU3IN033



Couche Physique



Plan du cours

- Signal électromagnétique
 - Période, fréquence, amplitude et phase
- Transformée de Fourier
 - Fonction périodique
 - Harmoniques
- Spectre fréquentiel
 - Hauteur de raies
- Bande passante d'un support
 - Large de bande
 - Fréquences de coupure
- Techniques de transmission
 - Modulation
 - Codage
- Modes de transmission du signal
 - Transposition de fréquence
 - Bande de base

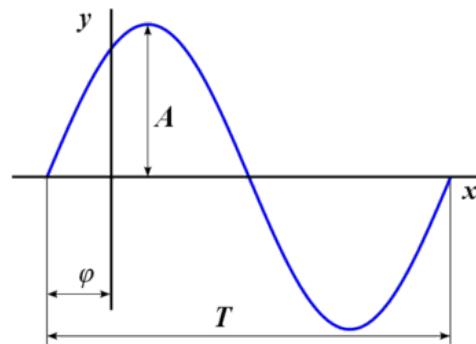


Onde électromagnétique

- Une onde électromagnétique
 - se déplace dans un milieu de propagation comme le vide ou l'air
 - avec une vitesse avoisinant celle de la lumière, soit près de 300 000 kilomètres par seconde
 - dont la variation dans le temps transporte une information

- Une onde se caractérise par:

- Période T
- Phase φ
- Amplitude A



Transformée de Fourier DM

- Toute fonction périodique $g(t)$ de période T peut se décomposer en une somme (éventuellement infinie) de fonctions sinus et cosinus :

$$g(t) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(2\pi n f_0 t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(2\pi n f_0 t)$$

- où f_0 est la fréquence fondamentale

- et :

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\pi n f_0 t) dt = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} g(t) \cos(2\pi n f_0 t) dt ;$$

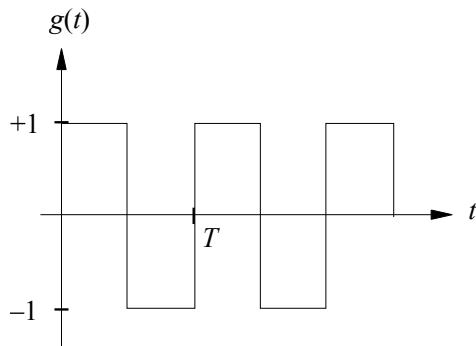
$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(2\pi n f_0 t) dt = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} g(t) \sin(2\pi n f_0 t) dt ;$$



$$c_0 = \frac{1}{T} \int_0^T g(t) dt = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} g(t) dt .$$

Un exemple

DM



$$g(t) = +1 \quad \text{pour } 0 \leq t < T/2 ; \\ g(t) = -1 \quad \text{pour } T/2 \leq t < T .$$

En posant : $f_0 = \frac{1}{T}$, la décomposition de Fourier donne :

$$g(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{\substack{n=1 \\ n \text{ impair}}}^{\infty} \frac{1}{n} \sin(2\pi n f_0 t) .$$

$$a_n = 0 \text{ pour tout } n$$

$$b_n = \frac{4}{\pi n} \text{ pour } n \text{ impair}$$

$$b_n = 0 \text{ pour } n \text{ pair}$$

$$c_0 = 0$$



Spectre fréquentiel

- Le spectre fréquentiel associé à une fonction périodique $g(t)$ est un spectre de raies
- Chaque raie correspondant à la fréquence d'un harmonique de la décomposition en série de Fourier de $g(t)$
- On définit trois types de spectres fréquentiels :
 - le spectre d'amplitude
 - le spectre de puissance
 - le spectre de phase
- Les spectres permettent d'identifier les composantes prépondérantes d'un signal
 - celles qui sont déterminantes pour assurer l'« allure » du signal



Spectre d'amplitude (1)

- La hauteur de chaque raie est égale à :

$$\sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

- Exemple (suite) :

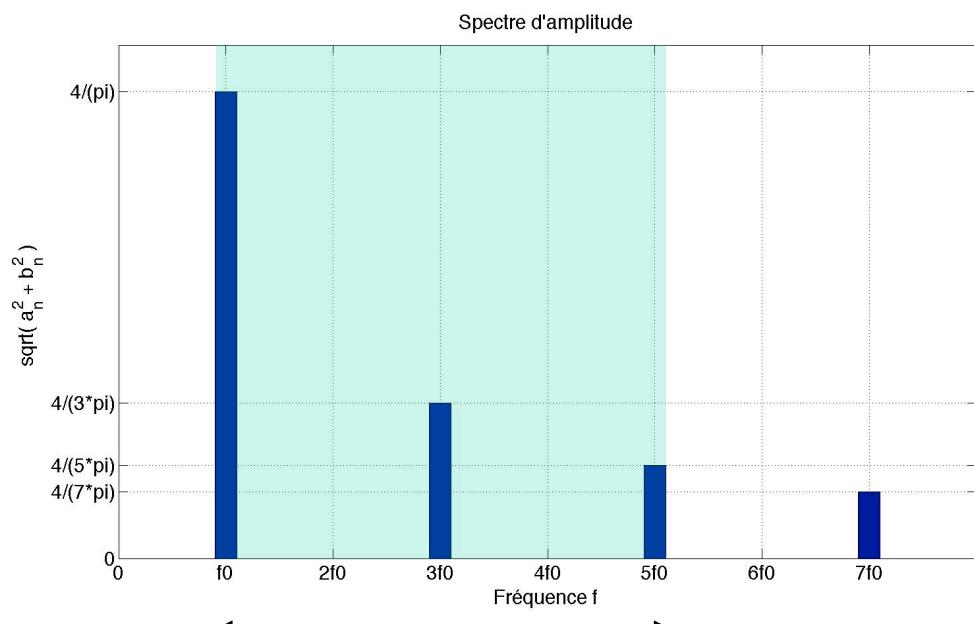
$$g(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{\substack{n=1 \\ n \text{ impair}}}^{\infty} \frac{1}{n} \sin(2\pi n f_0 t).$$

$a_n = 0$ pour tout n
 $b_n = \frac{4}{\pi n}$ pour n impair
 $b_n = 0$ pour n pair
 $c_0 = 0$

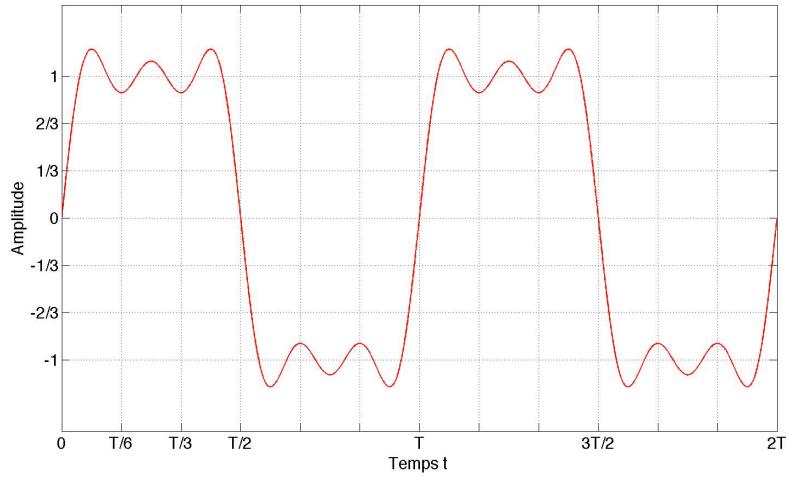
$\sqrt{a_n^2 + b_n^2} = |b_n| = \begin{cases} \frac{4}{\pi n} & \text{pour } n \text{ impair} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$



Spectre d'amplitude (2)



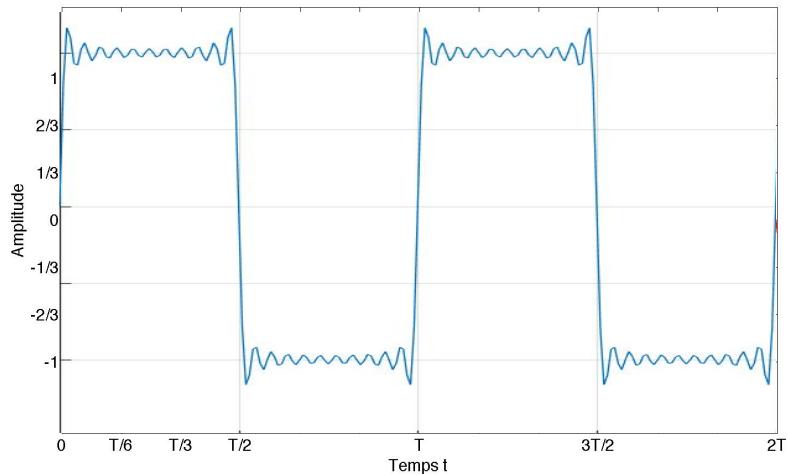
Harmoniques ($n = 5$)



$$\frac{4}{\pi} \left[\sin(2\pi f_0 t) + \frac{1}{3} \sin(2\pi \cdot 3f_0 t) + \frac{1}{5} \sin(2\pi \cdot 5f_0 t) \right]$$

§

Harmoniques ($n = 21$)

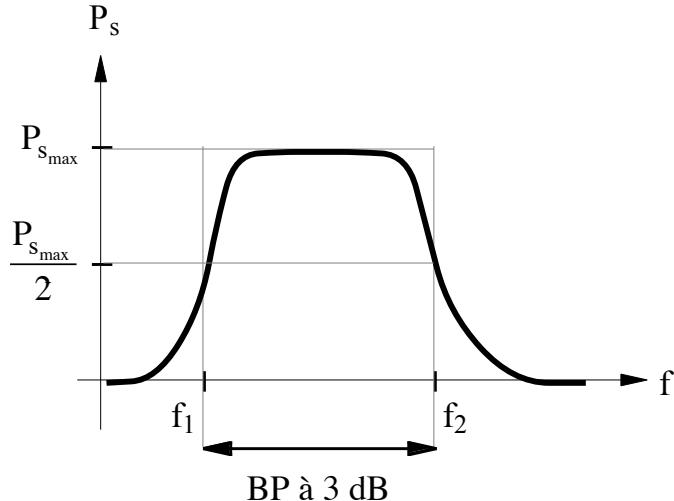


$$\frac{4}{\pi} \left[\sin(2\pi f_0 t) + \frac{1}{3} \sin(2\pi \cdot 3f_0 t) + \frac{1}{5} \sin(2\pi \cdot 5f_0 t) + \frac{1}{7} \sin(2\pi \cdot 7f_0 t) + \dots + \frac{1}{21} \sin(2\pi \cdot 21f_0 t) \right]$$

§

Bandé passante d'un support

- Bande de fréquences $[f_1, f_2]$ que le support laisse passer sans (trop de) déformations



$P_{s_{\max}}$ est la puissance max qu'un signal peut atteindre si ses composantes ont des fréquences comprises entre f_1 et f_2

Techniques de transmission

- Les supports de communication ne sont pas parfaits
 - affaiblissement, déphasage, bruits
- Les défauts du support limitent la transmission

Adapter les techniques de transmission aux caractéristiques du support !

- Deux grandes techniques de transmission :
 - transposition en fréquence (modulation en fréquence, amplitude ou phase)
 - en bande de base : codes de transmission de données



Phénomènes caractérisant les supports de transmission

- Affaiblissement
 - croît plus vite que la distance
 - varie en fonction de la fréquence
- Déphasage
 - varie en fonction de la fréquence
- Phénomènes perturbateurs
 - Bruit blanc : agitation thermique,
 - Bruit impulsif : organes électromécaniques, microcoupures
 - Diaphonie : couplage parasite entre lignes voisines - influence électromagnétique
 - Echo : réflexion du signal due à une désadaptation d'impédance



Bandé passante

DM

Formule de Shannon

- La bande passante correspond à la plage de fréquences où un support présente les meilleurs caractéristiques de transmission
- La bande passante à n décibels (dB) est la plage de fréquences dans laquelle le rapport signal sur bruit (noté S/B) vérifie :

$$S/B \text{ à } n \text{ dB} : 10 \log_{10}(P_S/P_B) \leq n,$$

où P_S est la puissance du signal et P_B est la puissance du bruit

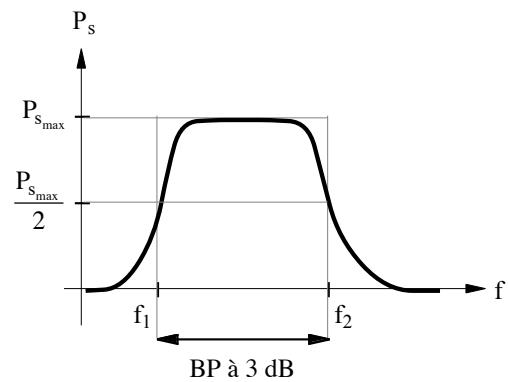
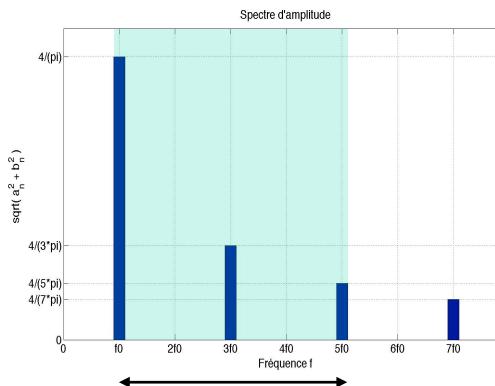
- La formule de Shannon donne le débit théorique maximum d'un support soumis à du bruit :

$$D = W \cdot \log_2(1 + P_S/P_B)$$

- où D est exprimé en bit/s
- W , exprimé en Hertz (Hz), représente la bande passante du support
- P_S est la puissance du signal et P_B la puissance du bruit



Adapter le signal au support

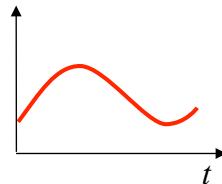


Techniques de transmission



Message numérique vs. analogique

- Message
 - données que l'usager souhaite transmettre
- Message analogique
 - espace de temps continu, espace de valeurs continu
 - ex : voix, vidéo, données collectées par des capteurs



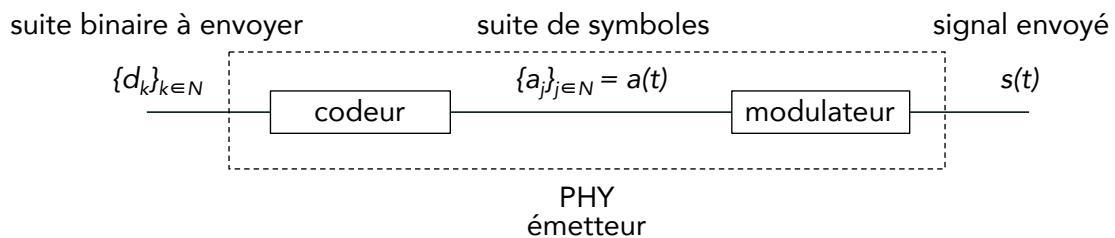
- Message numérique
 - espace de temps discret, espace de valeurs discret
 - ex : texte, entiers

000001010100011111010101



Techniques de transmission

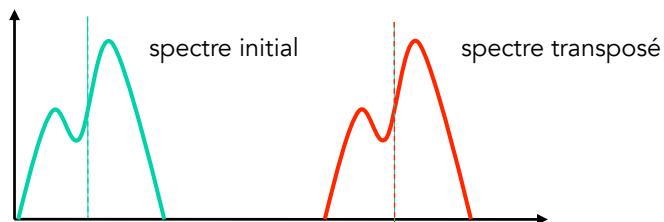
- Deux transformations fondamentales sont définies :
 - le codage : bits \rightarrow symboles
 - la modulation : symboles \rightarrow signal
- Les symboles peuvent être une fonction continue ou une suite de valeurs
- La modulation appliquée peut être très simple (pour le codage en BdB)
- A l'émission :



Modulation (1)

- Transposition en fréquence

- Transforme un signal initial quelconque $a(t)$ en un signal $s(t)$ adapté au support de communication employé
- Le signal $s(t)$ est obtenu en faisant varier les paramètres d'une onde généralement sinusoïdale appelée porteuse



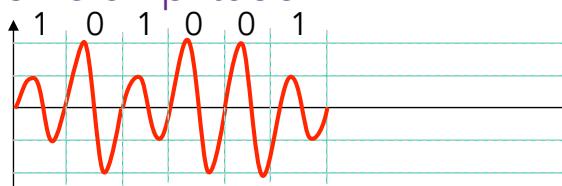
- Trois types élémentaires de modulation :

- modulation d'amplitude (lorsque les variations portent sur A)
- modulation de fréquence (lorsque les variations portent sur f)
- modulation de phase (lorsque les variations portent sur Φ)

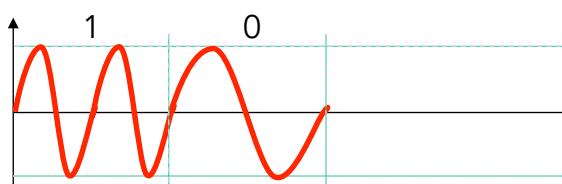


Modulation (2)

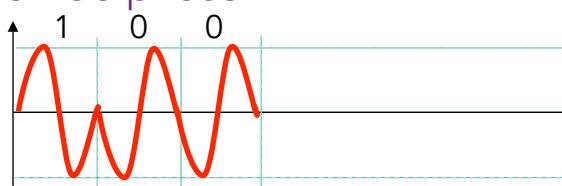
- Modulation d'amplitude



- Modulation de fréquence

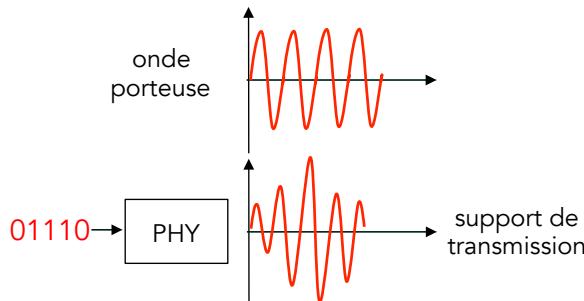


- Modulation de phase

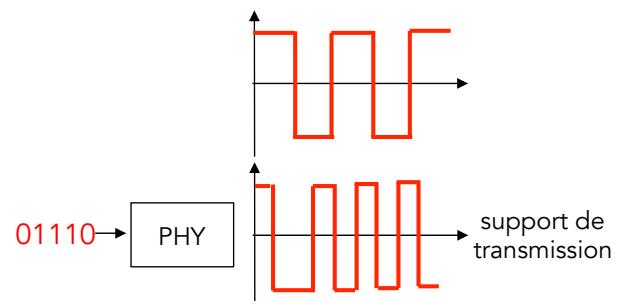


Transmission analogique vs. numérique

- Lorsque la fonction de modulation existe, la transmission est dite **analogique**



- La transmission est dite en **bande de base** lorsque le signal ne subit pas (peu) de transposition en fréquence



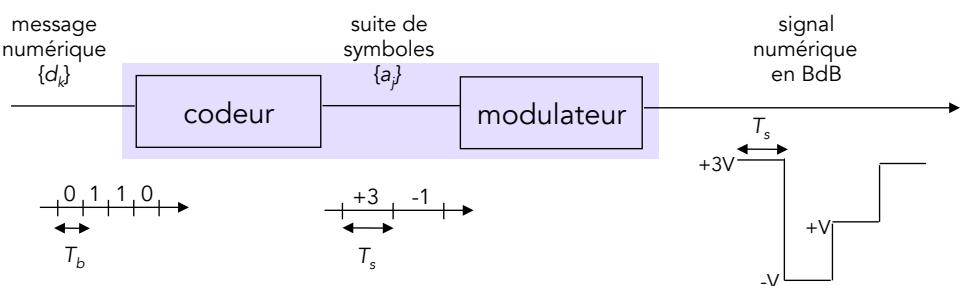
- Dans ce cas, le signal présente souvent un aspect rectangulaire car la fonction de modulation simple utilisée est rectangulaire

- Par abus de langage, on parle de transmission **numérique** lorsque une fonction discrète (suite binaire) est transformée en fonction continue lors de l'émission et réciproquement lors de la réception



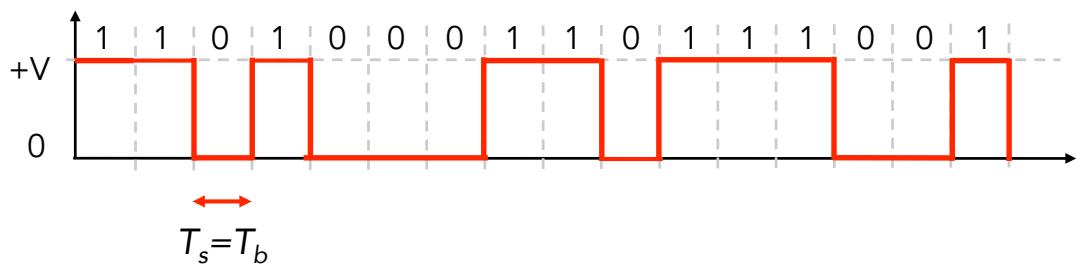
Codage

- Le codeur transforme une suite binaire $\{d_k\}_{k \geq 0}$ initiale en une suite codée $\{a_k\}_{k \geq 0}$ de symboles
- Le décodeur effectue l'opération inverse
- Le but du codage est d'adapter la suite de bits à transmettre aux caractéristiques de la transmission.
- S'il n'y a pas de modulation par transposition en fréquence, le codage est dit en **bande de base** :
 - la plage de fréquences utilisée par le signal issu de la suite codée est la même que celle de la suite initiale.
 - dans ce cas, le modulateur module à partir d'une fonction rectangulaire $R_T(t)$



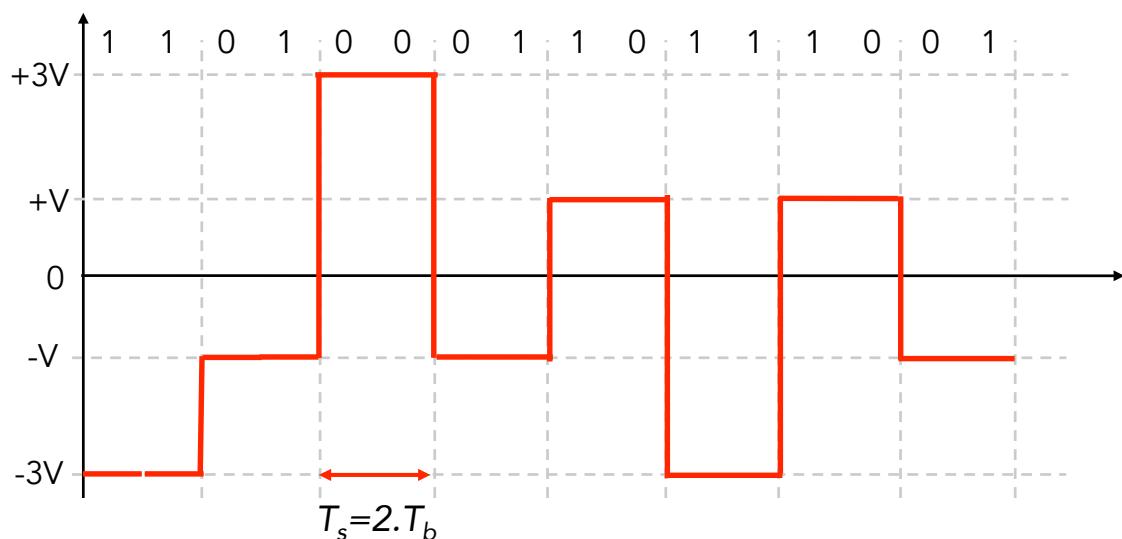
Exemple 1: Codage $M=2$

- $\{d_k\} = 1101000110111001$
- Codage binaire (Valence $M=2$)
 - $d_k = 1, a_k = +V$
 - $d_k = 0, a_k = 0$



Exemple 2: Codage $M=4$

- $\{d_k\} = 1101000110111001$
- Codage 4-aire (Valence $M=4$)
 - $d_k = 00, a_k = +3V$ $d_k = 10, a_k = +1V$
 - $d_k = 01, a_k = -1V$ $d_k = 11, a_k = -3V$



Débit binaire et rapidité de modulation

- Le débit binaire D_b d'une voie de données est le nombre maximum de bits d_i transmis par seconde sur cette voie:

$$D_b = \frac{1}{T_b} \text{ bit/s}$$

- La rapidité de modulation R_s (exprimée en bauds) mesure le nombre maximum de symboles (éléments de modulation) transmis par seconde:

$$R_s = \frac{D_b}{r} = \frac{D_b}{\log_2 M} \text{ symb/s ou bauds}$$

où M est la valence du codage (nombre de niveaux ou taille de l'alphabet des symboles)



Les codes BdB usuels

- Les codes à deux niveaux (binaire) par bit:
 - code NRZ ("Non Return to Zero")
 - code NRZI ("Non Return to Zero Invert")
 - code biphasé
 - code biphasé différentiel
 - code de Miller
- Les codes à trois niveaux (ternaire) par bit:
 - code RZ ("Return to Zero")
 - code bipolaire (simple)
 - code bipolaire entrelacé d'ordre 2
 - codes bipolaires à haute densité d'ordre n (BHDn)
- Les codes par bloc



Principales qualités d'un code

- Largeur de la plage de fréquences (spectre fréquentiel)
 - la plus étroite possible
- Répartition fréquentielle de la puissance
 - peu de puissance aux faibles fréquences, aucune à la fréquence nulle
- Codage de l'horloge
 - synchronisation de l'horloge du récepteur sur le signal reçu,
 - Fréquence suffisante des transitions
- Résistance au bruit
 - espacement des niveaux
- Complexité du codage
 - coût et vitesse de codage
- Equilibrage
 - influence du codage sur des symboles successifs



Débit et délai (1)



Débit

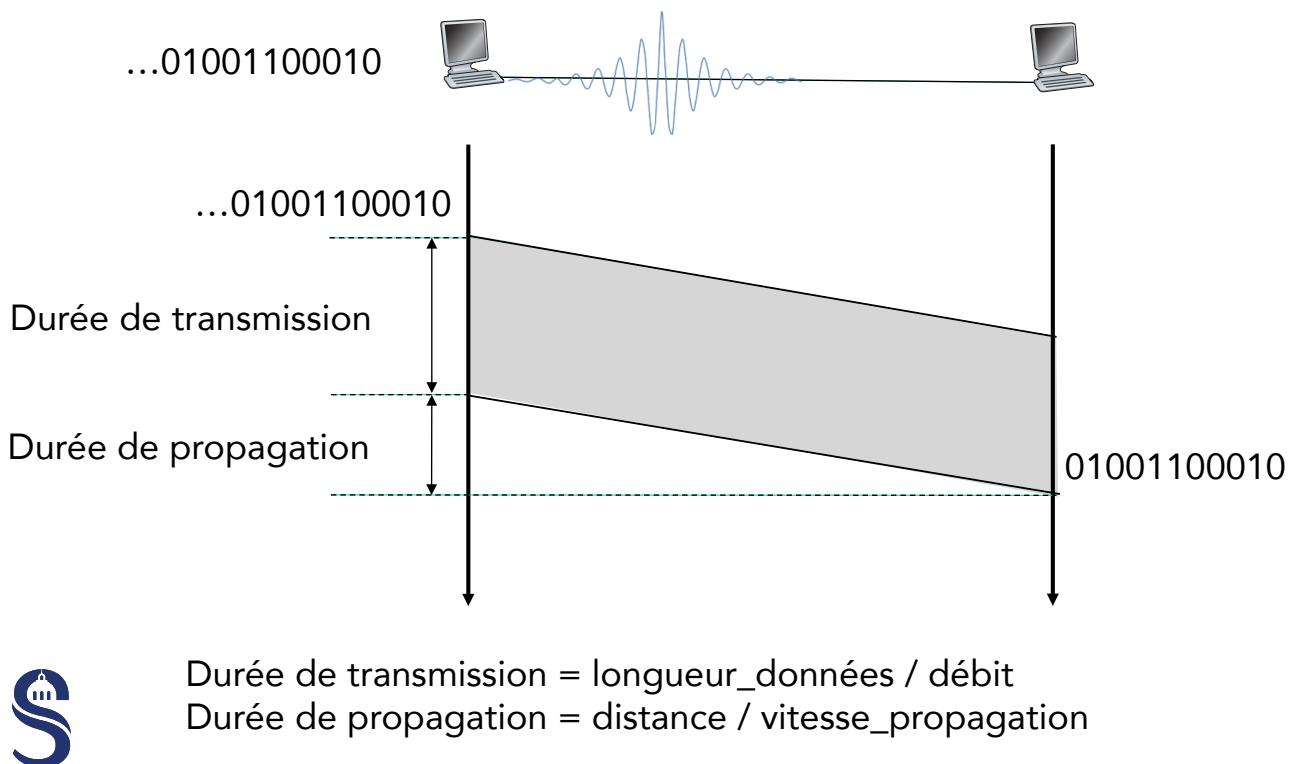
- Ethernet : 10, 100 Mbit/s
- Temps de transmission : longueur_données / débit

Délai (de propagation)

- Temps de propagation : distance / vitesse_propagation



Débit et délai (2)



Conclusions (1)

- Un signal est caractérisé par son spectre fréquentiel
 - Transformée de Fourier et hauteur de raies
- Un support est caractérisé par sa bande passante
 - Plus la largeur de la bande passante d'un système est proche du spectre fréquentiel de Fourier d'un signal, plus ce système est capable de transmettre fidèlement (c'est-à-dire sans déformations) ce signal
- Les techniques de transmission adaptent le signal aux caractéristiques du support de communication
 - Modulation
 - Codage



Conclusion (2)

- La transmission par transposition en fréquence :
 - module des signaux analogiques ou numériques
- La transmission en code de base :
 - module des signaux numériques sans transposition de fréquence
- De très nombreux codes de transmission existent (NRZ, biphase, bipolaire, etc.), chacun possédant certaines des caractéristiques voulues, mais pas toutes
- Les techniques de transmission ne suffisent pas à assurer que les communications se déroulent sans aucune erreur
 - techniques de protection contre les erreurs
- Cours prochain :
 - couche Liaison de données

