

TD - Exercices sur les transmissions

Complément sur les unités de mesure

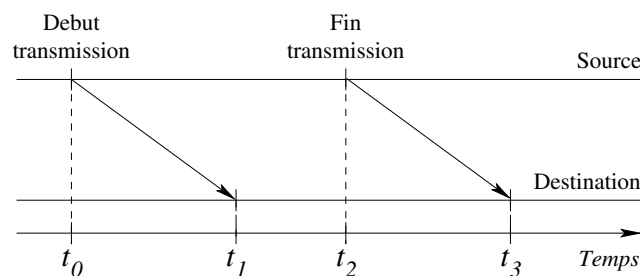
- Tableau des unités de mesure officielles basées sur le bit

Puissances de 10				Puissances de 2			
1 kilobit	kbit	1000 bits	10^3	1 Kibibit	Kibit	1024 bits	2^{10}
1 Mégabit	Mbit	1000 kbit	10^6	1 Mébibit	Mibit	1024 Kibit	2^{20}
1 Gigabit	Gbit	1000 Mbit	10^9	1 Gibibit	Gibit	1024 Mibit	2^{30}
1 Térabit	Tbit	1000 Gbit	10^{12}	1 Tébibit	Tibit	1024 Gibit	2^{40}

- Illustration de la signification des unités
 - kbit en puissance de 2 → kilobit ;
 - Kibibit en puissance de 10 → kilo binaire bit.

Exercice 1

1. Sur la figure ci-après, définir les délais de propagation, de transmission et le temps total de transfert.



Correction

- Délai de propagation = $t_1 - t_0$ ou $t_3 - t_2$;
 - Délai de transmission = $t_2 - t_0$ pour la source, $t_3 - t_1$ pour la destination ;
 - Temps total = $t_3 - t_0$.
2. Comment peut-on fiabiliser une transmission ?

Correction

- Comme nous le verrons ultérieurement, pour fiabiliser une transmission, et donc garantir l'acheminement des données, un nœud destination émet en réponse un acquittement (ACK).

- Si cet acquittement n'est pas reçu par le nœud source au bout d'un certain laps de temps (*timeout*), il retransmettra les données.
- Ce type de mécanisme n'est pas mis en œuvre dans Ethernet, c'est la couche Transport où se trouvent TCP et UDP qui s'occupe de cela. Ethernet permet uniquement de détecter des erreurs de transmission (un ou plusieurs bits modifiés).

Exercice 2

1. Calculer le délai de transmission théorique d'un fichier de 3349,56 Mio, dans le cas d'une liaison sans fil IEEE 802.11ax - WiFi 6 gérant 2 flux de données sur les 6 GHz, avec chaque flux qui peut atteindre un débit théorique de 1,2 Gbps (ou Gbit/s).
2. Calculer le délai de transmission effectif (ou en pratique) du fichier sachant que pour un débit théorique de 1,2 Gbps l'efficacité est en moyenne de 76,7%.

Correction

1. Calcul du délai de transmission théorique
 - Un délai (ou temps) de transmission se calcule comme suit :

$$\text{délai (s)} = \frac{\text{quantité d'information (bits)}}{\text{débit (bps)}}$$

- Délai de transmission théorique de la liaison sans fil

$$\begin{aligned}\text{délai théorique} &= (3349,56 \times 1024 \times 1024 \times 8) / (2 \times 1,2 \times 1000000000) \\ &= 11,708 \text{ s} \approx 12 \text{ s}\end{aligned}$$

2. Calcul du délai de transmission effectif

Le calcul se fait de la même manière, mais avec le débit utile, soit en divisant le résultat précédent par l'efficacité ($76,7\% = 0,767$).

$$\begin{aligned}\text{délai effectif} &= \frac{\text{quantité d'information}}{\text{débit utile}} \\ \text{délai effectif} &= \frac{\text{quantité d'information}}{\text{efficacité} \times \text{débit théorique}} \\ &= \frac{1}{\text{efficacité}} \times \frac{\text{quantité d'information}}{\text{débit théorique}} = 11,708 / 0,767 \\ &= 15,265 \text{ s} \approx 15 \text{ s}\end{aligned}$$

On rappelle que $1,2 \text{ Gbit/s} = 150 \text{ Mo/s}$. Le WiFi 802.11ax (ou WiFi 6) est la principale norme actuelle, avec un débit maximal jusqu'à 9,6 Gbps (8 antennes) pour la version la plus performante (en théorie).

Exercice 3

Pour communiquer, deux machines utilisent un canal de communication offrant un débit théorique de 100 Mbps, d'une longueur de 100 mètres et une vitesse de propagation de $0,67 \times c \text{ m/s}$ (avec $c \approx 300000000 \text{ m/s}$ et un coefficient de vélocité de 67%).

Quel est le délai de propagation ? Sachant que le délai de transmission effectif d'un fichier de 360 Mo est de 30,90 secondes, calculer l'efficacité du canal de communication.

Correction

- On sait que la vitesse de propagation est $v = \frac{l}{t}$ avec v en m/s, l en mètre(s), et t en seconde(s). D'où :

$$\text{délai de propagation} = \frac{l}{v} = \frac{100}{0,67 \times c} \approx 0,4975 \mu s$$

- Calcul de l'efficacité

$$\begin{aligned} \text{délai effectif} &= \frac{\text{quantité d'information}}{\text{débit utile}} \\ &= \frac{\text{quantité d'information}}{\text{efficacité} \times \text{débit théorique}} \end{aligned}$$

On en déduit :

$$\begin{aligned} \text{efficacité} &= \frac{\text{quantité d'information}}{\text{délai effectif} \times \text{débit théorique}} \\ &= \frac{360 \times 10^6 \times 8}{30,90 \times 100 \times 10^6} \\ &\approx 93,2 \% \end{aligned}$$

Exercice 4

Voici un exercice permettant de faire une comparaison du débit et du délai. C'est un exercice proposé dans le livre "Réseaux. Cours et Exercices" d'Andrew Tannenbaum qui, même s'il néglige bien des aspects d'une communication et peut sembler loufoque, illustre bien la différence entre délai et débit. Il montre que parfois il est plus pratique de recourir à une transmission des données via un support physique par coursier / transporteur plutôt que par le réseau.

Concernant ce dernier point, il faut savoir que cela se fait réellement. L'exemple le plus parlant étant Amazon avec son AWS Snowmobile, un service de transfert de données permettant de déplacer de grands volumes de données vers l'AWS. Un Snowmobile permet de transférer jusqu'à 100 Po (ou Pio ? ; 1 Po = 10^{15} octets, soit 1 millions de milliards d'octets). Physiquement, c'est un conteneur de 14 mètres de long placé sur une remorque tractée par un camion. Un Snowmobile représente l'équivalent de 1250 valises AWS Snowball. La société DigitalGlobe qui stocke des images satellitaires haute résolution a utilisé ce service (sa production journalière de données est de 80 à 100 To).

Supposons qu'un Saint-Bernard, équipé d'une boîte de 3 clés USB de 64 Gio chacune à la place d'un tonnelet de rhum (argh!!!), soit entraîné à effectuer l'aller-retour entre deux points quelconques. Sachant qu'il a une vitesse de déplacement de 18 km/h, jusqu'à quelle distance le chien possède-t-il une plus grande vitesse de transmission qu'une liaison (d'un réseau) ATM à 622 Mbit/s ? On néglige le temps de propagation des bits sur le réseau et donc seul le débit est pris en compte. Pour le chien c'est naturellement l'inverse, on ne tient compte que de la vitesse de propagation.

Correction

- Il faut bien entendu que le chien arrive avant que tous les bits aient été transmis sur le réseau ATM. Calculons donc le temps que prendra la transmission :

$$\text{temps} = \frac{\text{quantité d'information}}{\text{débit}}$$

$$\begin{aligned}\text{temps} &= \frac{3 \times (64 \times 2^{30}) \times 8}{622 \times 10^6} \text{ secondes} \\ &= 2651,55 \text{ secondes}\end{aligned}$$

- Maintenant, voyons la distance que le chien pourrait parcourir durant ce délai de transmission :

$$\text{vitesse} = \frac{18 \times 10^3}{60 \times 60} \text{ m/s} = 5 \text{ m/s}$$

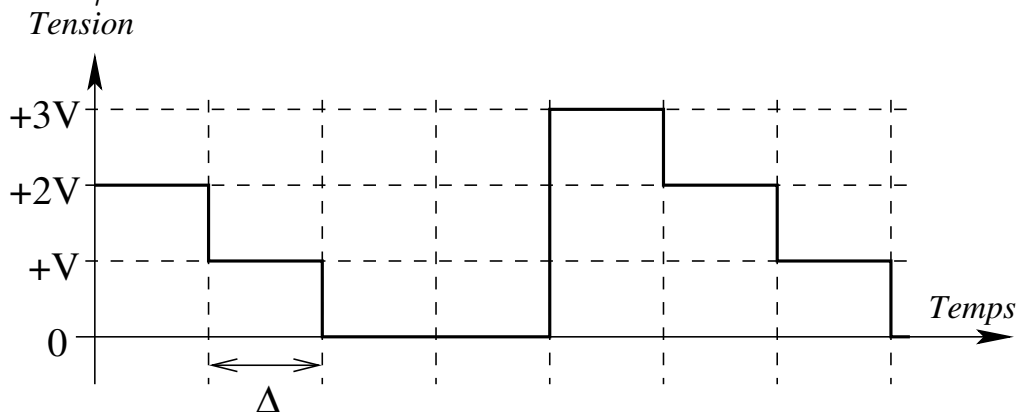
On en déduit :

$$\text{distance} = 5 \times 2651,55 = 13257,75 \text{ mètres}$$

Cela signifie donc que si le point de stockage des données se trouvait à moins de 13257 mètres, ou 13,25 kilomètres, le chien représente un support physique de transmission qui serait plus économique et rapide.

Exercice 5

- On observe le signal numérique ci-après où Δ , qui définit la durée d'une période élémentaire, vaut $1 \mu\text{s}$.



- En déduire :
 1. la valence du signal $\rightarrow N = 4$ (0, +V, +2V et +3V) ;
 2. le nombre de bits transportés durant une période $\rightarrow B = \log_2 4 = 2$ bits ;
 3. la vitesse de modulation $\rightarrow R = \frac{1}{\Delta} = \frac{1}{10^{-6}} = 1000000$ bauds
(le signal d'horloge a donc une fréquence de 1 MHz) ;
 4. le débit $\rightarrow D = R \times B = 2000000 \text{ bit/s} = 2 \text{ Mbit/s}$.

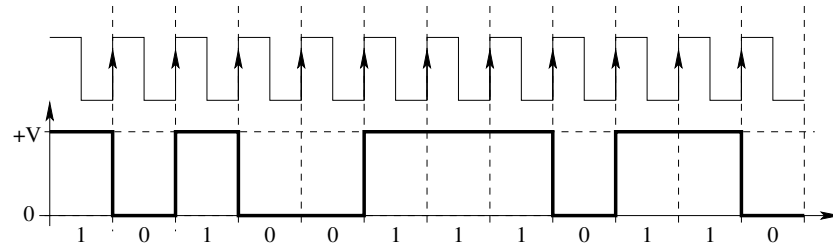
Exercice 6

1. Coder la séquence binaire 101001110110 en utilisant successivement les différents codages présentés.
2. On observe le signal ci-après. Sachant que le codage utilisé est le Manchester et que $\Delta = 10^{-8}$ secondes, on vous demande de donner :
 - la séquence binaire transmise ;
 - le débit offert par le support de transmission correspondant.

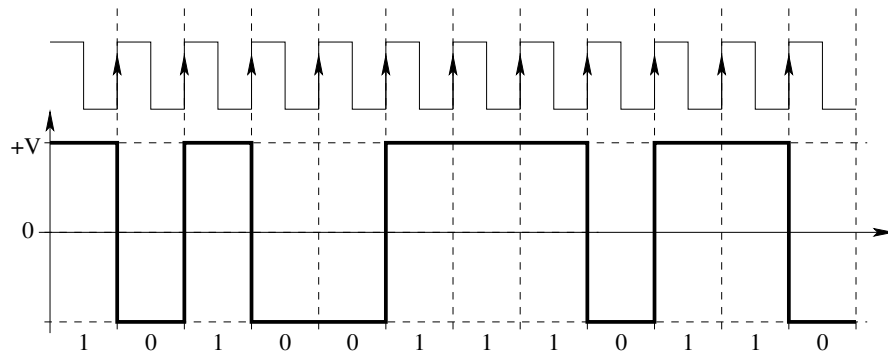
Correction

1. Codages (sauf mention contraire on suppose que le signal est à $+V$ au démarrage)

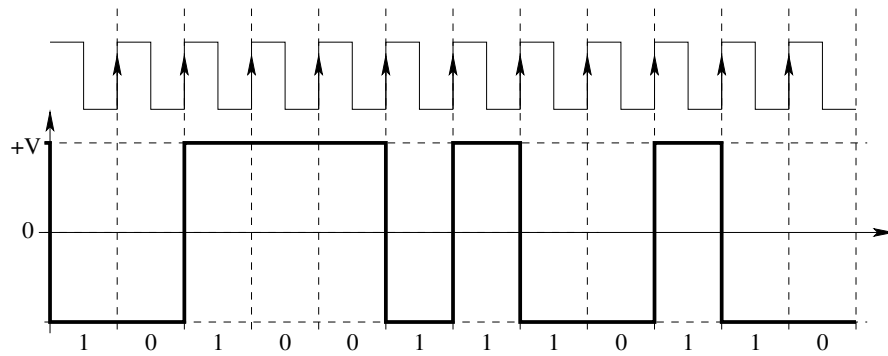
— Tout ou rien - NRZ



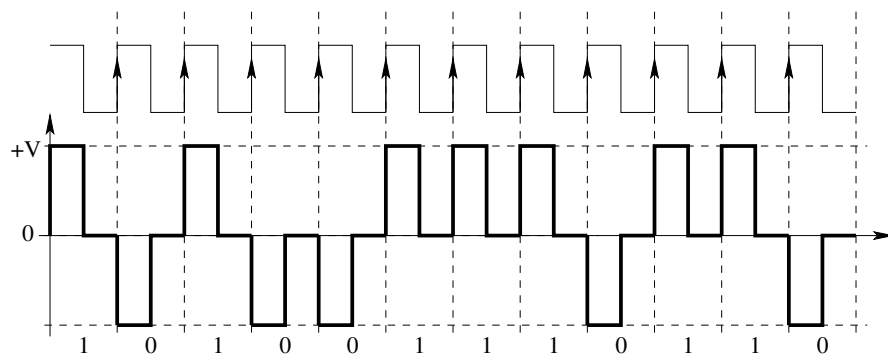
— NRZL



— NRZI

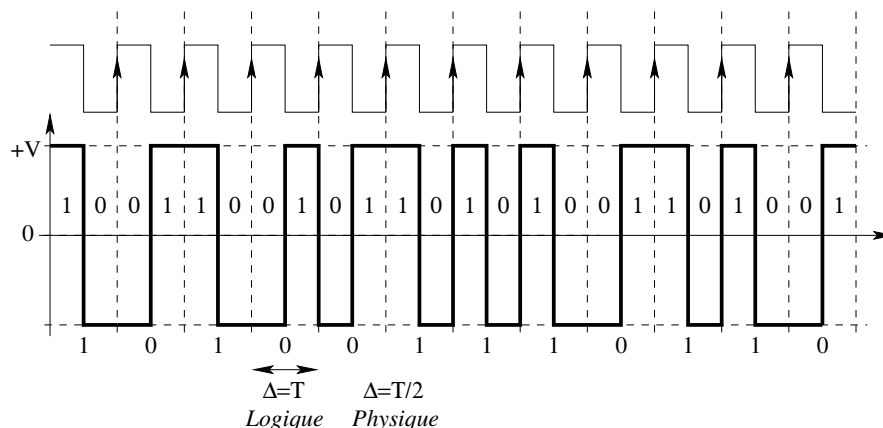


— RZ



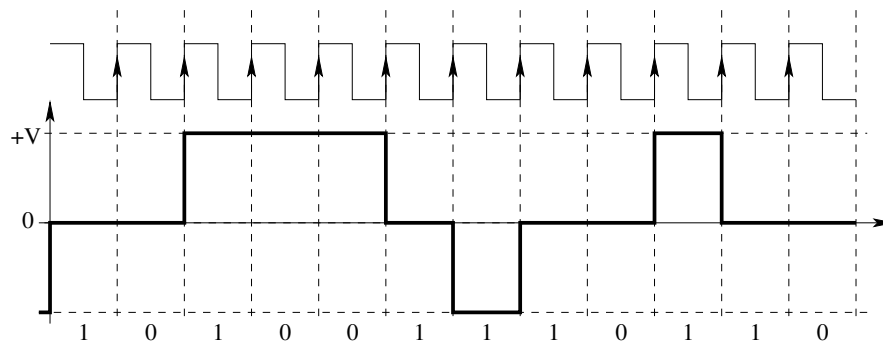
NRZL avec un retour à la tension nulle au milieu de chaque période

— Manchester



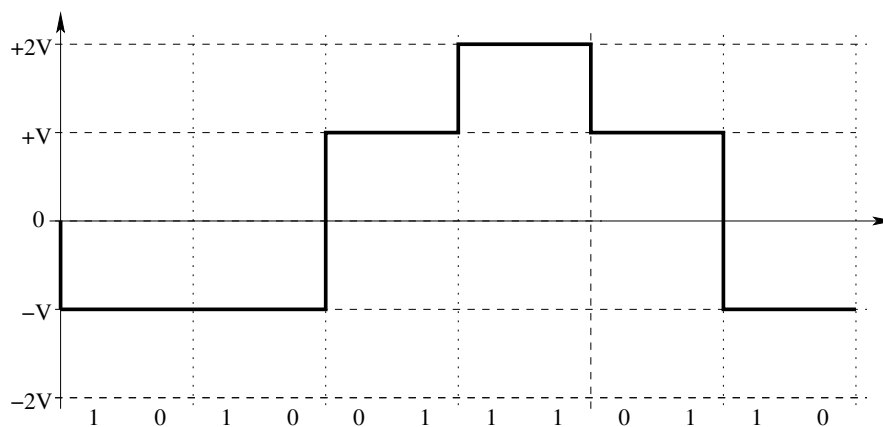
Solution au problème de la détection de longues séquences de 0 ou de 1, présent dans les codes tout ou rien et NRZ. Le problème est que ce signal induit de hautes fréquences dans le spectre du signal transmis.

— MLT-3



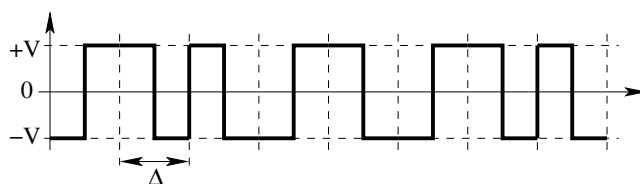
On suppose que l'on démarre à $t \leq 0$ avec $-V$.

— 4D-PAM5



On suppose que l'on démarre à 0.

2. Analyse du signal



- Séquence binaire transmise $\rightarrow 01101011$.
- Débit
 - Valence du signal $\rightarrow N = 2$;
 - vitesse de modulation $\rightarrow R = \frac{1}{\Delta} = \frac{1}{10^{-8}}$;
 - débit

$$D = R \times \log_2 N = R = 100000000 \text{ bit/s} = 100 \text{ Mbps}$$

Exercice 7

À partir du signal analogique de la figure 1, déterminer :

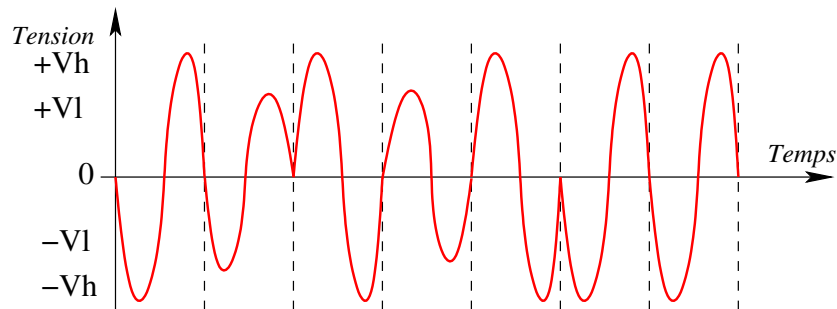


FIGURE 1 – Exercice 7 : signal observé.

1. le(s) type(s) de modulation mis en œuvre et pour chacun(s) la valence, en déduire la valence globale du signal ;
2. la vitesse de modulation du signal, sachant que $\Delta = 1 \text{ ms}$;
3. le débit.

Correction

1. Modulation en amplitude et en phase, chaque modulation ayant une valence de 2, d'où une valence globale de $N = 4$ et le codage de 2 bits sur une période Δ ;
2. vitesse de modulation $\rightarrow R = \frac{1}{\Delta} = \frac{1}{10^{-3}} = 1000 \text{ bauds}$;
3. débit $\rightarrow D = R \cdot \log_2 N = R \cdot 2 = 2 \text{ kbps}$.

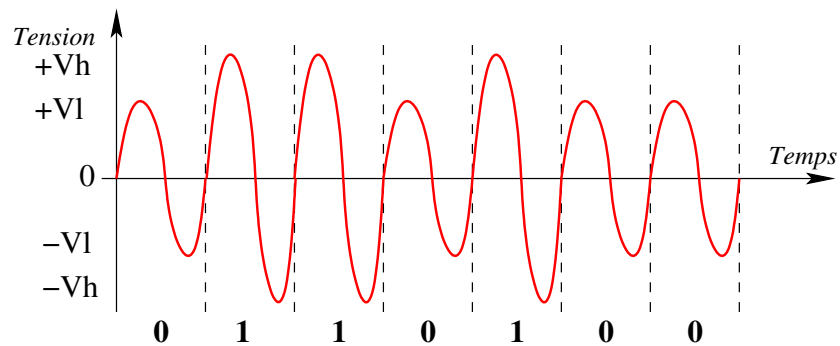


FIGURE 2 – Modulation par amplitude : $Vl \rightarrow 0$, $Vh \rightarrow 1$.

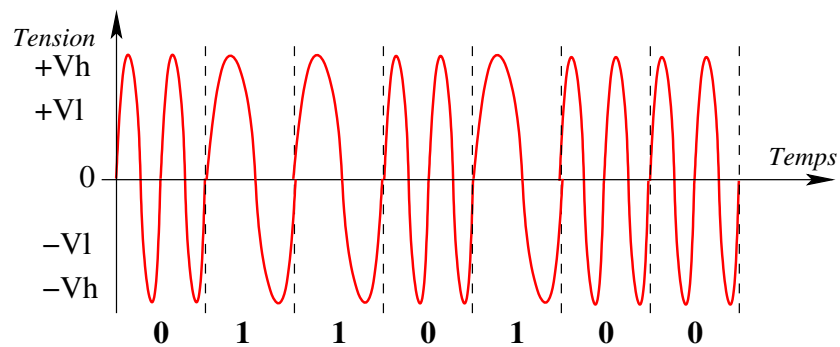


FIGURE 3 – Modulation par fréquence : 2 oscillations $\rightarrow$ 0, 1 oscillation $\rightarrow$ 1 par période.

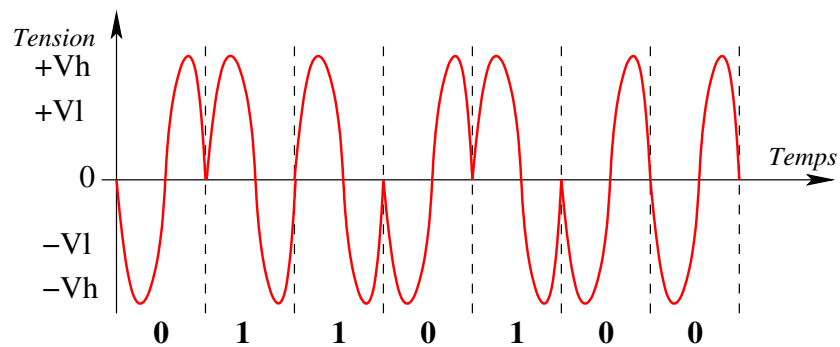


FIGURE 4 – Modulation par phase : phase négative $\rightarrow$ 0, phase positive $\rightarrow$ 1 par période.