

Transmission analogique d'un signal numérique

1 Transmission en bande de base : le codage.

On considère le train binaire suivant :

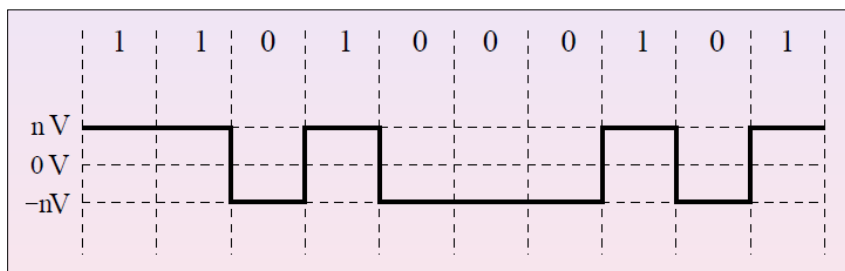
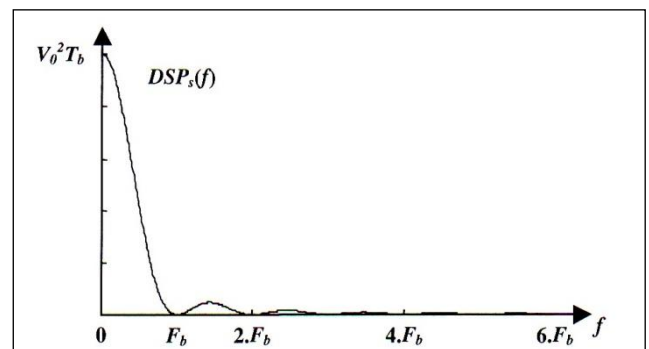
0 1 1 0 1 0 0 0

1.1 Le codage NRZ bipolaire.

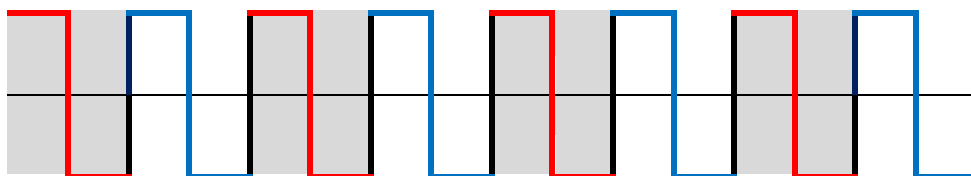
On code le bit 1 par un signal de n volts et le bit 0 par un signal opposé. Utilisation port série RS – 232

Que des inconvénients :

- Sensible aux inversions de polarité
- Possibilité de longue séquence identique :
synchronisation difficile : ce format ne présente aucune raie spectrale à la fréquence rythme ou fréquence de bit
- La densité spectrale se situe dans les basses fréquences



0 1 1 0 1 0 0 0

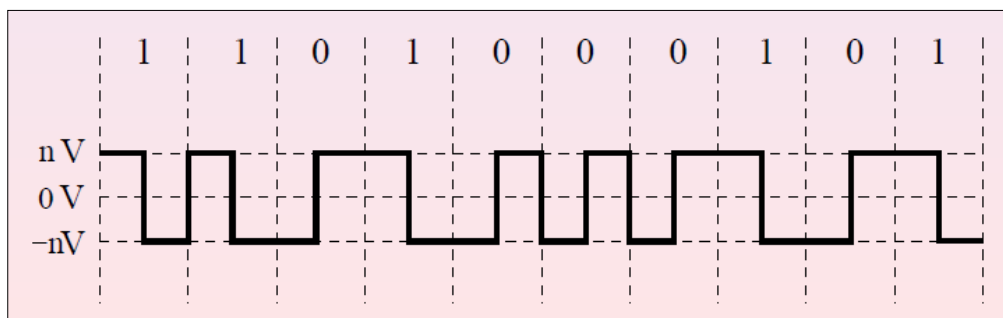
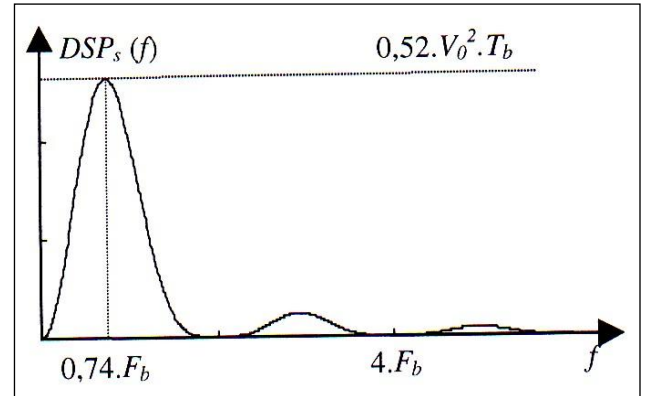


1.2 Le codage Manchester.

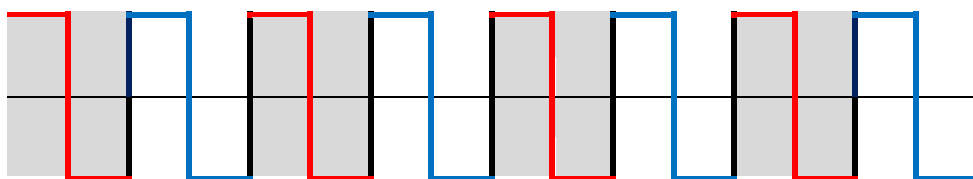
Code biphase.

1 est codé par un passage de la tension n à $-n$ et 0 par le passage en sens inverse. Utilisation Ethernet 10Base5, 10Base2, 10Base-T, 10Base-FL

- Pas de composante continue car la moyenne est nulle : possibilité de transmettre une tension d'alimentation.
- Pas de perte de synchronisation car il n'y a pas de grande suite de symbole identiques : la composante du spectre autour de la fréquence de bit est non nulle.
- Pbm : sensible aux inversions de polarité



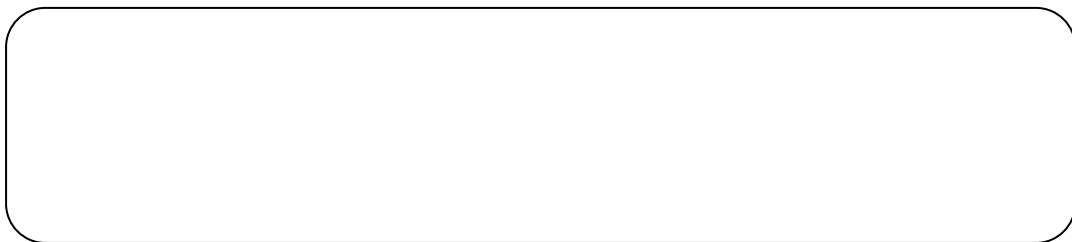
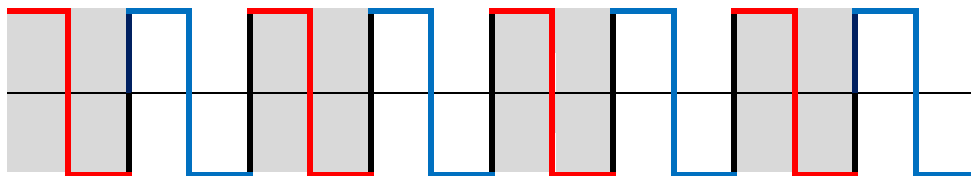
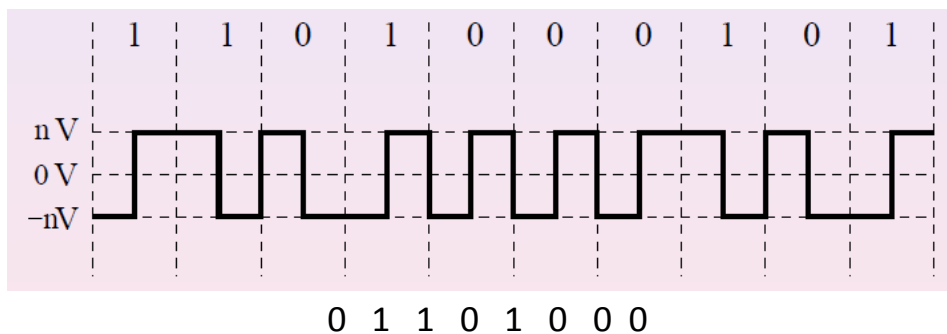
0 1 1 0 1 0 0 0



1.3 Le codage Manchester différentiel.

Code biphasé différentiel. Le bit 0 est codé par un changement d'état en début d'horloge. Le bit 1 est codé par une conservation de l'état précédent en début d'horloge.

- Il est insensible aux inversions de fils dans le câblage
- Pas de composante continue car la valeur moyenne est nulle : possibilité de transporter une tension d'alimentation.
- Le spectre occupe une large bande



1.4 Le codage Miller.

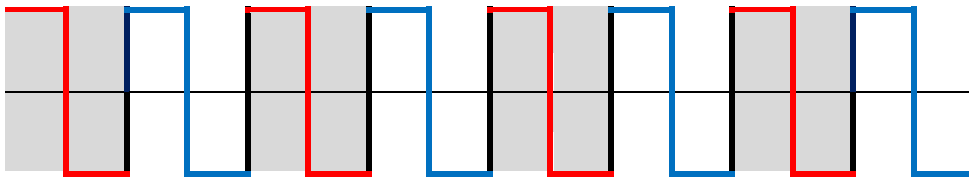
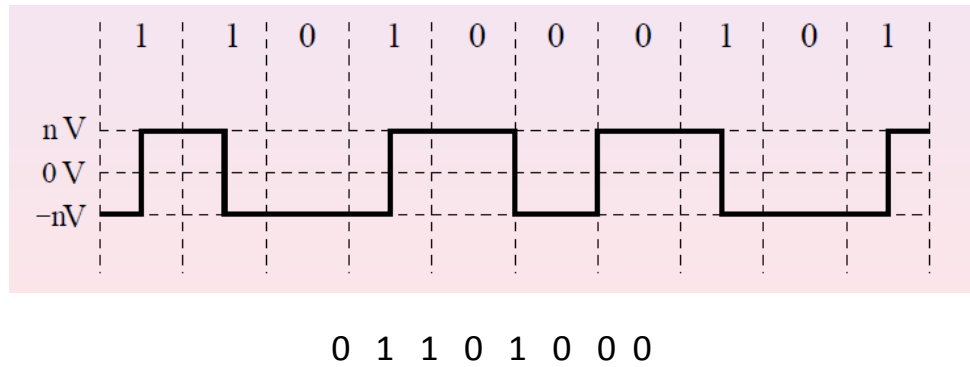
Un 1 est codé en utilisant une impulsion de Manchester (impulsion de durée T_b avec inversion de polarité au milieu de l'impulsion) et un 0 est codé sous forme d'impulsion rectangulaire de durée T_b sans changement de polarité. Les longues suites de 0 posent toujours le problème de la synchronisation, si un bit 0 est suivi d'un autre 0, une transition est ajoutée à la fin du temps d'horloge.

Avantages :

- Bande passante réduite
- Pas de perte de synchronisation

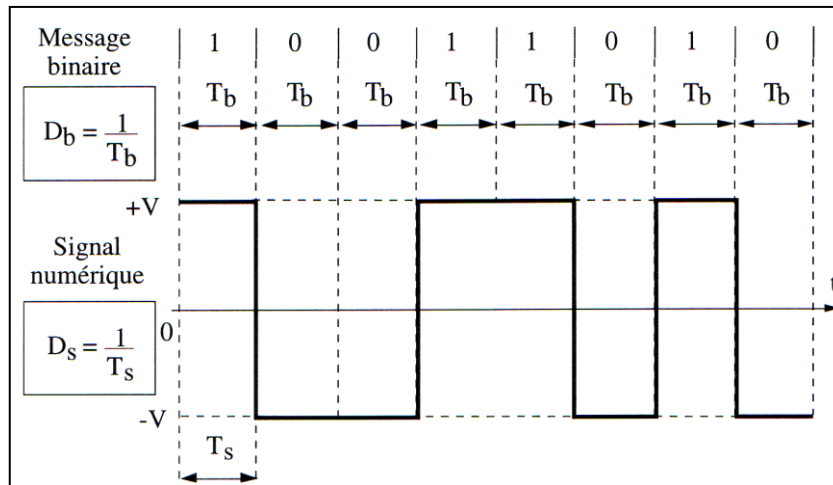
Inconvénient :

- Apparition d'une composante continue



2 Transmission analogique.

2.1 Message binaire et signal numérique.



$$D_b = \frac{1}{T_b}$$

: Débit binaire = fréquence de bits = nombre d'informations transmises en 1s.
Grandeur exprimé en **bits/s**

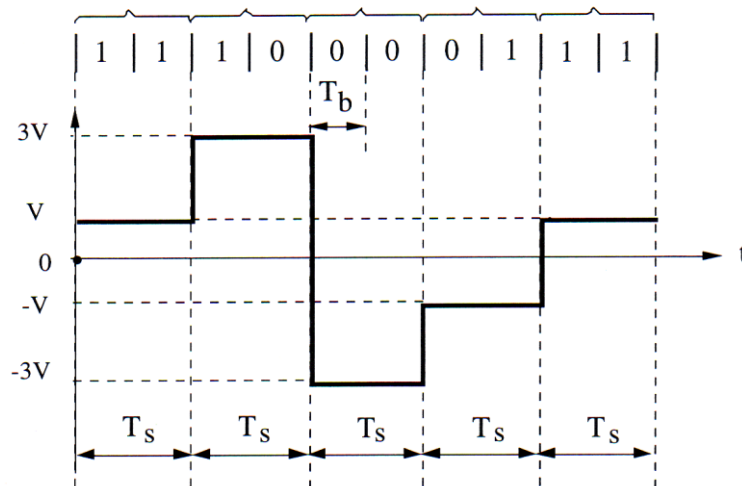
$$D_s = \frac{1}{T_s}$$

: Débit de symbole = fréquence de symbole = rapidité de modulation = débit des moments = nombre d'états électriques pris par le signal en 1s. Grandeur exprimée en **Baud (Bd)**

Dans cet exemple : $D_b = D_s \Leftrightarrow 1$ état électrique transporte 1 information

2.2 Notion de « Dibits »

➤ Imaginons un code à 4 niveaux, 4 états électriques ($N = 4$) ; on dit que la **valence** du signal est de 4 ($v = 4$)



➤ Etat des débits : $T_s = 2T_b$ $D_s = \frac{1}{2}D_b$

➤ Table de codage :

Dibits	Niveaux
0 0	- 3 V
0 1	- V
1 1	+ V
1 0	+ 3 V

➤ Conclusions :

- Fonctionnement en « dibits » \Rightarrow 4 possibilités de combinaisons \Rightarrow 4 états électriques nécessaires
- Intérêt : 1 état électrique transporte 2 informations
- Extension : plus la valence est grande, plus on transmet d'information par état électrique
- Limites : la transmission s'effectue en présence de bruit, il ne faut donc pas que les états électriques soient trop proches car, dans ce cas, les erreurs ne pourraient pas être corrigées.

➤ Formule limite : On peut montrer que :

$$D_{B_{\max}} = D_s \log_2 v$$

D_s est aussi appelé « rapidité de modulation » et noté R

On dit qu'il y a **redondance** si $D_b < D_s \log_2 v$

Rappel : —

3 Le multiplexage.

Le multiplexage est une technique qui consiste à utiliser un même canal de transmission pour envoyer plusieurs signaux.

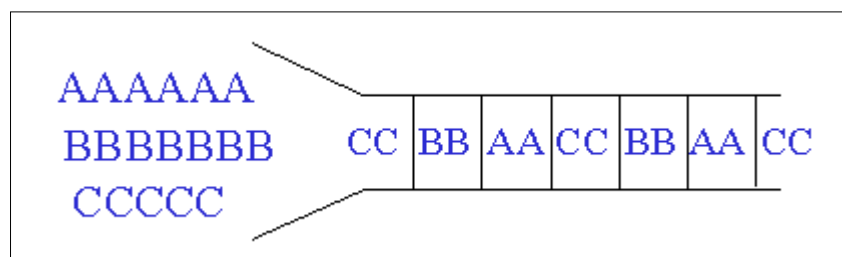


3.1 Le multiplexage temporel.

Multiplexage par répartition dans le temps : MRT ou TDM (Time Division Multiplexing)

↳ Intérêt : permet d'échantillonner les signaux des différentes voies « basse vitesse » et de les transmettre successivement sur la voie « haute vitesse » en leur allouant la **totalité de la bande passante**, et ce, même si celles-ci ne possèdent pas de données à émettre.

Le temps alloué à chaque signal est le « Time Slot » (TS)

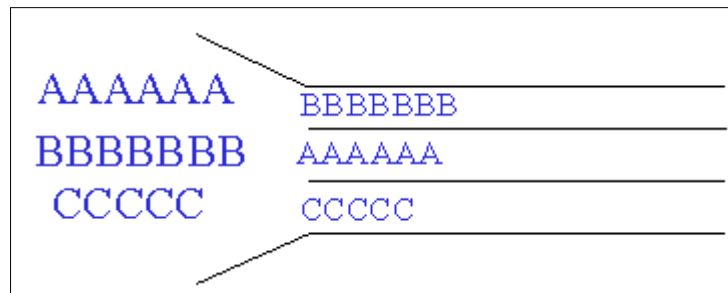


↳ Exemples :

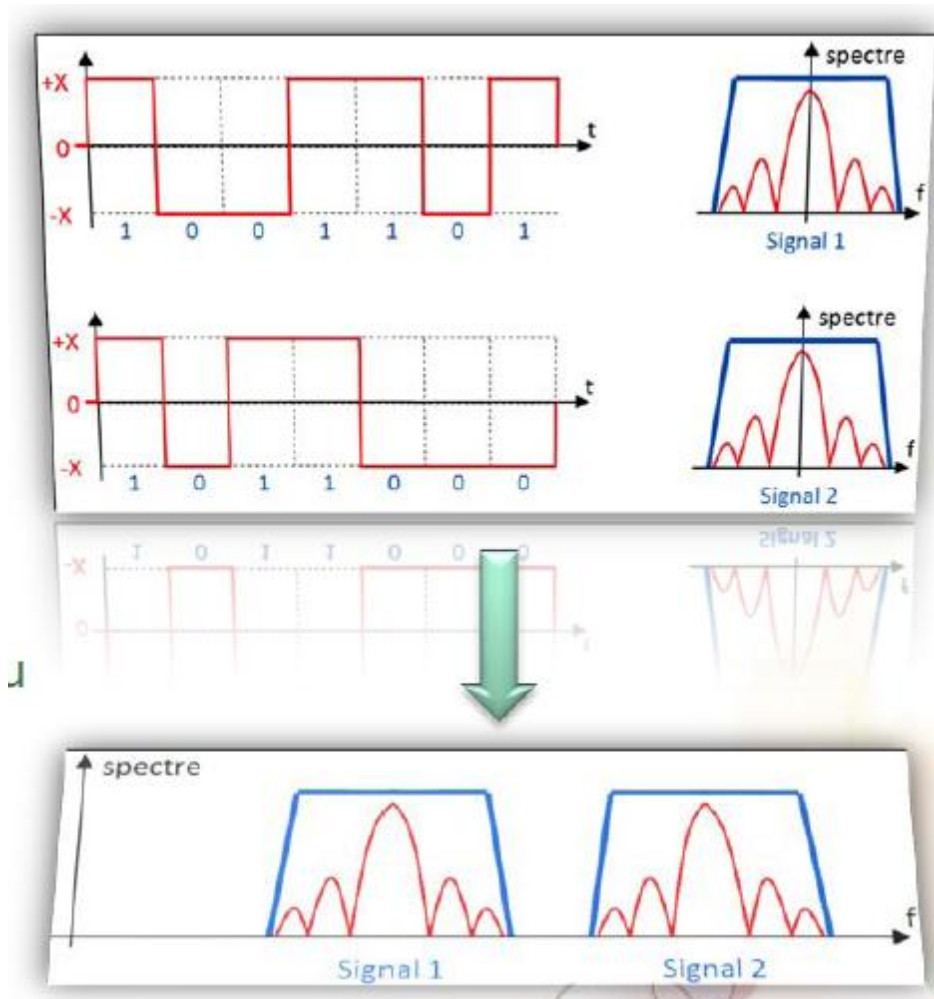
- USB – universal serial bus : communication en NRZI
- FireWire - IEEE 1394 : découpage en tranche de 125 microsecondes – codage NRZ
- Système DMX pour l'éclairage scénique – codage NRZ
- Serial ATA
- Télévision Numérique Terrestre.
- GSM - ARMT

3.2 Le multiplexage fréquentiel.

↳ Intérêt : La bande passante du canal est découpée en plusieurs sous bandes. Chaque sous bande est affectée à une voie de transmission.



Chaque bande de base de chaque signal est recentrée sur une fréquence de porteuse grâce à la modulation.



3.3 Exemple de la TNT.

Les 18 chaînes numériques gratuites sont regroupées en 6 signaux : 6 multiplex notés R1, R2, R3, R4, R5 et R6. Chaque multiplex utilise une fréquence porteuse qui lui est propre : le multiplexage est fréquentiel au niveau des multiplex mais temporel à l'intérieur de chaque multiplex.

Les fréquences des porteuses sont entre 470 MHz et 862 MHz

R1 - SGR1

Numéro de chaîne	Nom de la chaîne
2	France 2
3	France 3 (programme régional)
5	France 5
19	France Ô
13	LCP-Assemblée nationale / Public Sénat
20 à 29	Chaîne locale (liste ici)

R2 - NTN

Numéro de chaîne	Nom de la chaîne
8	Direct 8
14	France 4
15	BFM TV
16	i>Télé
17	Direct Star
18	Gulli

R3 - CNH (Compagnie du numérique hertzien)

Numéro de chaîne Nom de la chaîne

4	Canal+ HD
30	TPS Star
32	Canal+ sport
33	Canal+ cinéma
35	Planète

R4 - Multi 4 (Société opératrice du multiplex R4)

Numéro de chaîne Nom de la chaîne

6	M6
9	W9
11	NT1
31	Paris Première

57 [Arte](#) HD

R5 - MR5 (Multiplex R5)

Numéro de chaîne Nom de la chaîne

51 [TF1](#) HD

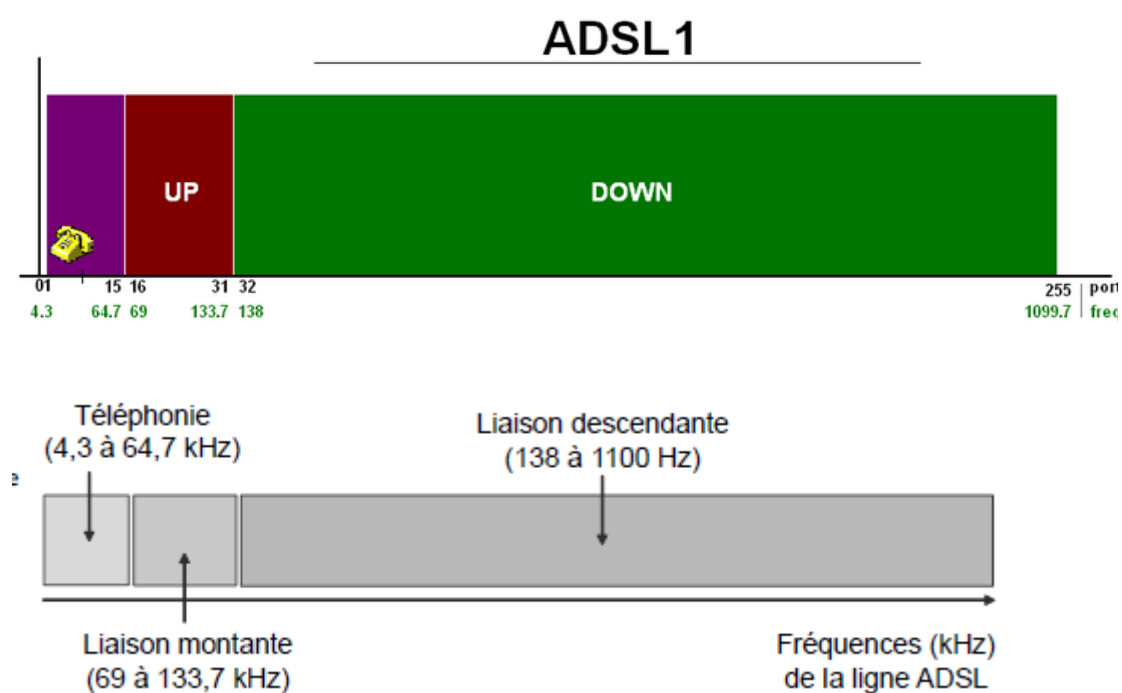
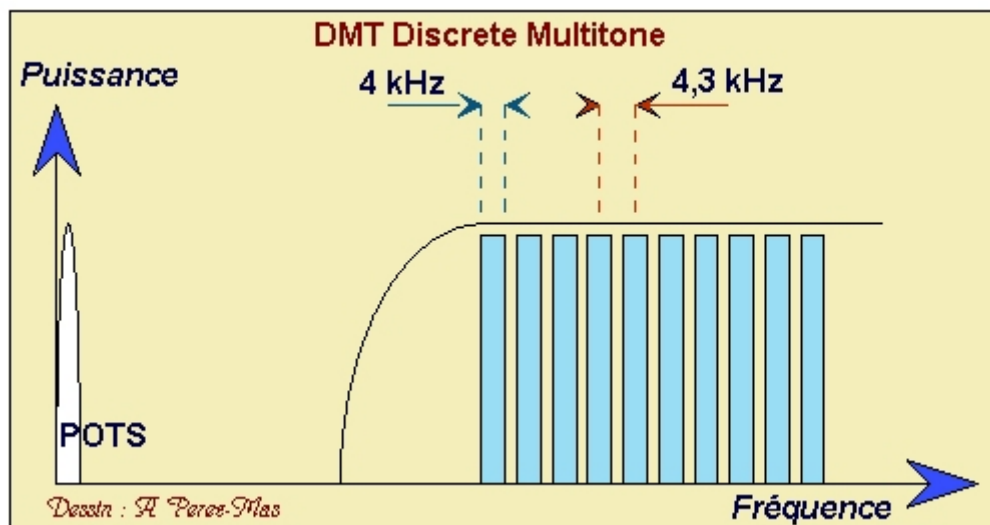
52 [France 2](#) HD

56 [M6](#) HD

R6 - SMR6 (Société d'exploitation du multiplex R6)

Numéro de chaîne	Nom de la chaîne
1	TF1
10	TMC
12	NRJ 12
36	TF6
38	LCI
39	Eurosport France
7	Arte

3.4 Exemple : l'ADSL

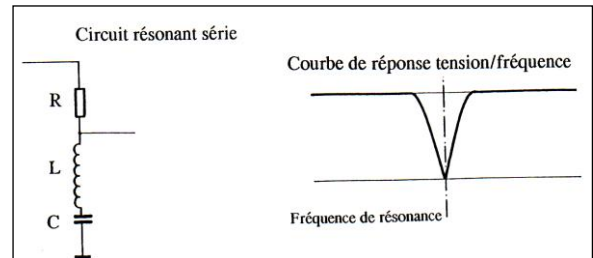


4 Transmission par modulation.

La réception d'émission de radio ou de télévision impose de capter différents signaux, de les amplifier, de les trier. Certains filtres électroniques de base sont utilisés :

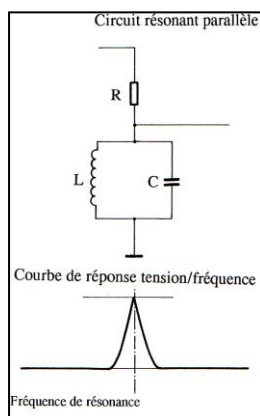
4.1 Filtre RLC série

Ces filtres sont utilisés comme **réjecteur** ou **trappe** pour se débarrasser de fréquences bien précises : la tension à la sortie du filtre sera considérablement diminuée pour une fréquence appelée « fréquence de résonance » qui dépend de la valeur des composants utilisés :



$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

4.2 Filtre LC parallèle.



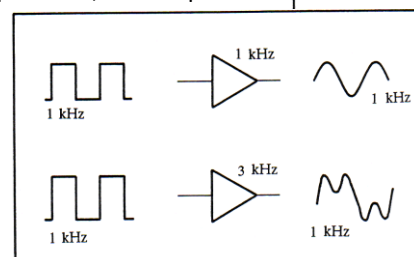
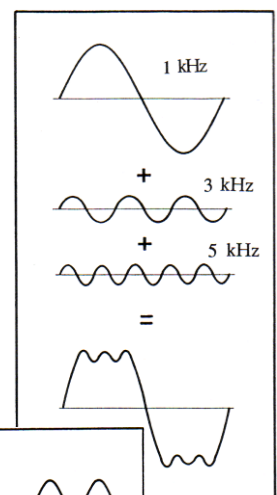
Ce circuit se comporte à l'inverse du précédent : la tension est maximale à la fréquence de résonance. Ce filtre permettra l'extraction d'une seule fréquence parmi la gamme présente sur son entrée. (Ex : réglage d'un tuner sur une station radio)

4.3 Problème de Fourier et de la transmission.

Imaginons que l'on veuille transmettre un signal carré de 1 kHz. Nous savons que tout signal périodique est constitué de sinusoïdes de fréquence et d'amplitude définies par la décomposition mathématique de Fourier. Ainsi, le signal carré sera constitué d'une fondamentale à 1kHz, d'une première harmonique à 3kHz, d'une seconde à 5kHz etc...

Si l'on fait passer le signal carré dans un ampli de 1kHz de bande passante, on récupérera à la sortie la fondamentale

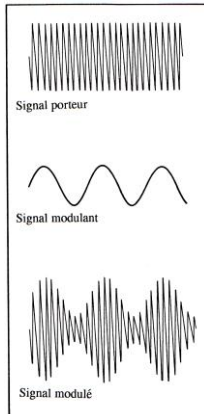
Si l'on fait passer le signal carré dans un ampli de 3 kHz de bande passante, on récupérera à la sortie la fondamentale et la première harmonique.



Conclusion : Quelque soit le signal émis, il ne sera jamais possible de produire autre chose qu'une sinusoïde. Il n'y a donc qu'une solution : **émettre une sinusoïde**.

4.4 Modulation d'amplitude – signaux analogiques

4.4.1 Intérêt et principe

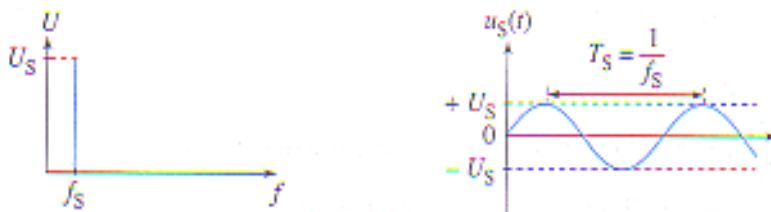


L'onde électromagnétique produite directement par le signal n'est pas une onde hertzienne car la fréquence est trop faible, donc elle n'est pas transportable.

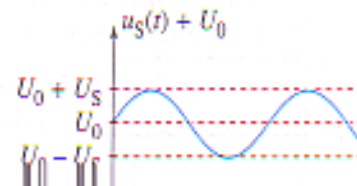
Il s'agit d'émettre un signal sinusoïdal et d'en faire varier l'amplitude au rythme du signal à transmettre. Toutes les émissions de télévision par voie hertzienne sont en modulation d'amplitude et les émissions satellite le sont en modulation de fréquence.

4.4.2 Analyse mathématique

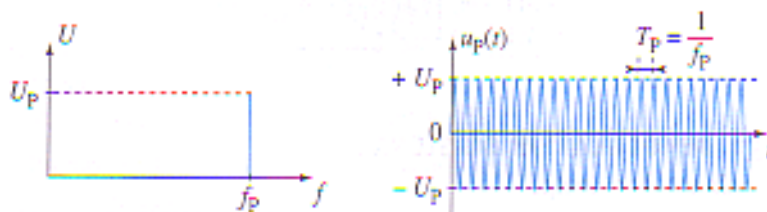
➤ Signal à transporter :



➤ Addition de la tension continue ou tension de décalage U_0 (Tension d'offset)



➤ Multiplication par la tension de la porteuse :



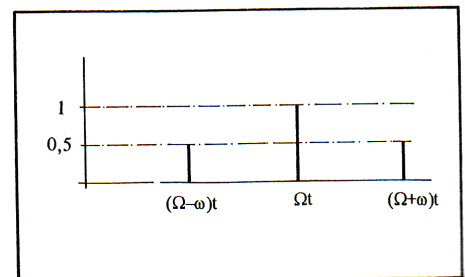
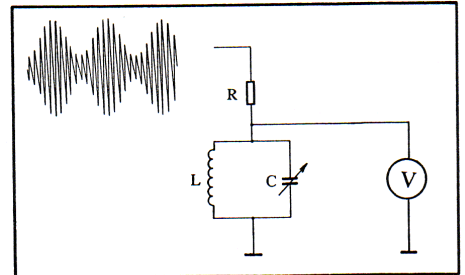
Le circuit électronique multiplieur permet d'obtenir , au coefficient k près. Le signal modulé devient :

est donc la somme de trois sinusoïde de fréquences f_p , $f_p - f_s$ et $f_p + f_s$

Exemple : Imaginons un signal de 10V d'une fréquence de 10 kHz modulé par un signal sinusoïdal de 2 kHz.

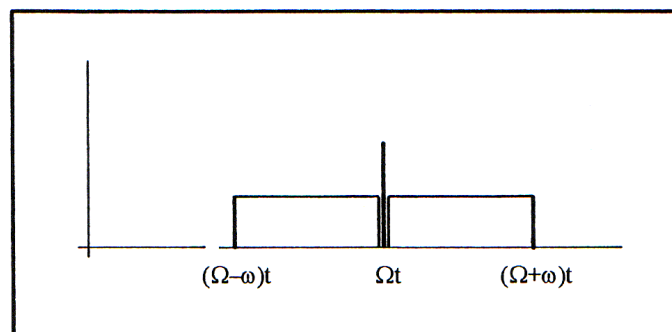
On obtient les mesures suivantes :

1 kHz \Rightarrow	0 V
2 kHz \Rightarrow	0 V
3 kHz \Rightarrow	0 V
...	
7 kHz \Rightarrow	0 V
8 kHz \Rightarrow	5 V
9 kHz \Rightarrow	0 V
10 kHz \Rightarrow	10 V
11 kHz \Rightarrow	0 V
12 kHz \Rightarrow	5 V
13 kHz \Rightarrow	0 V
14 kHz \Rightarrow	0 V



Remarque, il n'y a aucune raie à 2 kHz.

Conclusion : voici le spectre transmis :

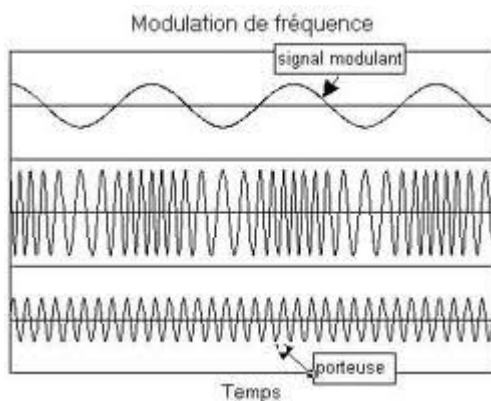


4.4.3 Démodulation

- Le filtre LC parallèle (filtre passe bande) est accordé sur la fréquence de la porteuse.
- Le signal est amplifié
- Le signal passe dans une diode pour ne conserver que la partie positive.
- Le signal passe dans un circuit RC parallèle afin de ne conserver que les variations d'amplitude
- On élimine la composante continue en utilisant un filtre RC série (filtre passe haut)

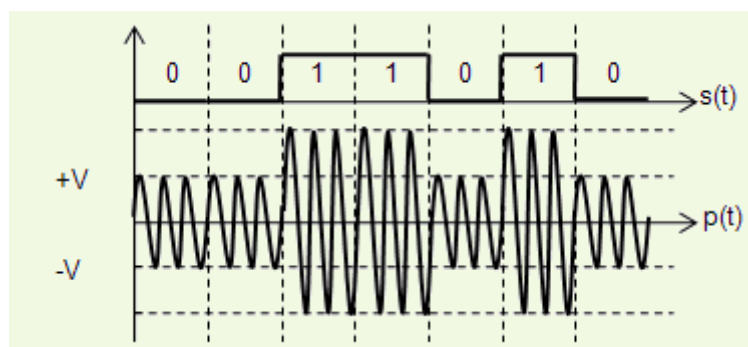
4.5 Modulation de fréquence – signaux analogiques

La fréquence de la porteuse varie en fonction de l'amplitude du signal à transmettre.



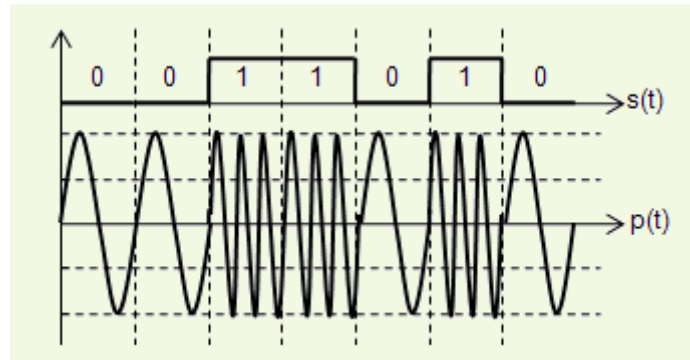
4.6 Modulation d'amplitude – signaux numériques

L'amplitude de la porteuse a des valeurs discrètes. Ci dessous, modulation d'amplitude à deux états :

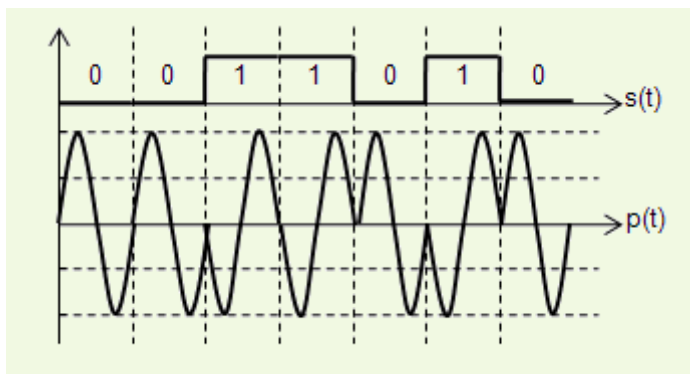


4.7 Modulation de fréquence – signaux numériques

La fréquence de la porteuse peut prendre des valeurs bien définies :

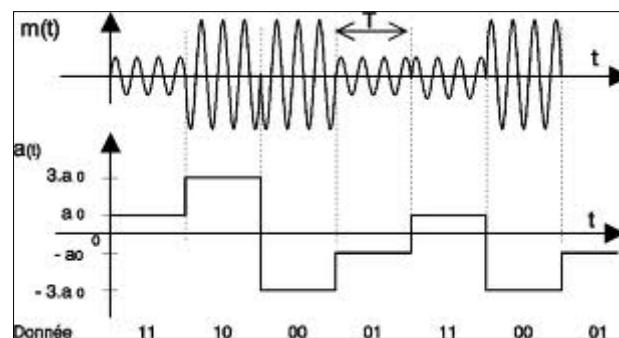


4.8 Modulation de phase – signaux numériques



4.9 Modulation mixte

Exemple de modulation 4 états :



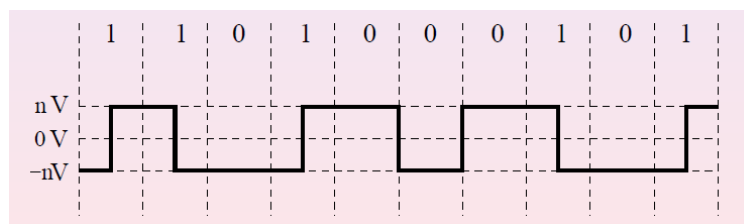
Exercices

1 Questions de cours

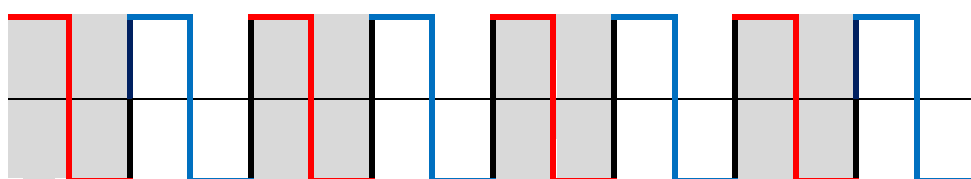
- ✓ Quelle est la définition d'un signal numérique ?
- ✓ Quelle est la définition d'un signal analogique ?
- ✓ Sur quelles grandeurs physiques peut-on agir pour améliorer ou dégrader la qualité d'une numérisation ?
- ✓ Quelle est le théorème de Shannon ?
- ✓ Quelle est le critère de Nyquist ?
- ✓ Qu'est ce que le processus d'échantillonnage ?
- ✓ Qu'est ce que le processus de quantification ?
- ✓ Quelles sont les caractéristiques d'un enregistrement « qualité CD » ?
- ✓ Qu'est ce que le codage de voie ?
- ✓ Qu'est ce que le multiplexage ?
- ✓ Qu'est ce que la modulation d'amplitude ?
- ✓ Qu'est ce que la modulation de fréquence ?

2 Codage de Miller

Rappel : Un 1 est codé en utilisant une impulsion de Manchester (impulsion de durée T_b avec inversion de polarité au milieu de l'impulsion) et un 0 est codé sous forme d'impulsion rectangulaire de durée T_b sans changement de polarité. Les longues suites de 0 posant toujours le problème de la synchronisation, si un bit 0 est suivi d'un autre 0, une transition est ajoutée à la fin du temps d'horloge.



Coder le mot binaire suivant : 0 1 1 0 1 0 0 0



3 Applications numériques

↳ La capacité maximale C_{\max} d'un support de transmission de largeur de bande W est donnée par la formule de Shannon :

—

Où S représente la puissance du signal et N la puissance du bruit. Le réseau téléphonique commuté possède une bande passante comprise entre 300 Hz et 3400 Hz. Si le rapport signal/bruit est de 31, calculer la capacité maximale de la ligne.

↳ Les caractéristiques principales d'un modem sont la valence V , la rapidité de modulation R et le débit D .

1. Quelle est la formule générale liant ces trois caractéristiques ?
2. Si $D = 10\,000$ b/s et $R = 2\,000$ bauds, quelle est la valence ? Quelle est la durée d'un cycle d'horloge ?
3. Si $V = 4$ et $R = 1\,000$, quel est le débit ?
4. Si $V = 8$ et $D = 3\,000$, quelle est la rapidité de modulation ?

4 Modulation

Soit le mot binaire : 0 1 1 0 1 0 0 0

Indiquer sur une figure le signal généré en utilisant :

- ✓ Une modulation d'amplitude à 2 états
- ✓ Une modulation d'amplitude à 2 états combinée avec une modulation de fréquence à 2 états.